

# La tecnologia DP. Classificació, equips, vaixells i operacions marítimes

Treball Final de Grau



Facultat de Nàutica de Barcelona  
Universitat Politècnica de Catalunya

Treball realitzat per:  
**Marc Sopeña i Martínez**

Dirigit per:  
**Agustí Martín Mallofré**

Grau en Nàutica i Transport Marítim

Barcelona, 01/06/2018

Departament de Ciència i Enginyeria Nàutiques



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Facultat de Nàutica de Barcelona







---

# AGRAÏMENTS

*Vull mostrar la meva eterna gratitud a totes aquelles persones que han estat presents durant la realització d'aquesta meta, d'aquest somni que és tan important per a mi. Agrair tota la seva ajuda, les seves paraules motivadores, els seus coneixements, els seus consells i la seva dedicació.*

*Mostro els meus sincers agraïments al meu tutor de projecte, qui amb el seu coneixement i la seva guia ha estat una peça clau per a cada etapa de desenvolupament del treball.*

*Finalment, vull agrair a la base de tot, a la meva família, especialment al meu germà i als meus pares, que són els que amb els seus consells han estat el motor d'arrencada i la meva constant motivació, moltes gràcies per la seva paciència i comprensió, i sobretot pel seu amor.*



---

# RESUM

Aquest treball és un estudi sobre el sistema de Posicionament dinàmic o sistema DP (Dynamic Positioning), tenint com a objectiu un anàlisi total sobre aquest sistema de navegació i posicionament. Aquest sistema consisteix en un conjunt de sensors, monitors i un sistema de propulsió que, a temps real, és capaç de corregir els efectes del vent, la corrent i l'onatge per a mantenir una embarcació en una localització concreta i de forma estàtica.

En les últimes dècades, el posicionament dinàmic ha estat un tema molt innovador i ha proporcionat un gran desenvolupament en el món marítim. Així doncs, la intenció i objectiu d'aquest treball és obtenir com a fruit un coneixement avançat sobre aquest sistema, saber com va sorgir el terme de posicionament dinàmic, conèixer els seus components i parts, conèixer tant les seves limitacions com els seus avantatges, la seva classificació actual i els seus usos i aplicacions.

A més, s'entendrà i es comprendrà el funcionament tant en el seu conjunt com en les seves diferents parts, sabent diferenciar cadascun dels tipus i la raó per la qual és tan important en el sector marítim tant en el passat, l'actualitat i el futur pròxim. Es farà incís en certs conceptes i aspectes del Posicionament Dinàmic per abastir un coneixement més ampli i acurat.

Al llarg del Treball s'anirà analitzant i diferenciant termes en cadascun dels apartats, evitant confusions i possibles contrarietats per tot el que fa referència al sistema de posicionament dinàmic.

Per últim, es veurà l'ampli ventall de tipologies de vaixell que s'utilitzen avui en dia amb el sistema DP i s'entendran les aplicacions i operacions que són capaços de realitzar. Amb elles, es veurà el paper tant important que desenvolupa en l'actualitat.







---

# TAULA DE CONTINGUTS

AGRAÏMENTS.....	III
RESUM.....	V
TAULA DE CONTINGUTS .....	VII
LLISTAT DE FIGURES.....	XI
LLISTAT DE TAULES .....	XIV

## CAPÍTOL 1. HISTORIA DEL DESENVOLUPAMENT DEL POSICIONAMENT ..... 16

1.1 INTRODUCCIÓ I LA NECESSITAT INDUSTRIAL.....	16
1.2 EL PRIMER VAIXELL AMB POSICIONAMENT DINÀMIC .....	17
1.3 PRINCIPIS DEL DP .....	19
1.4 GRAUS DE LLIBERTAT DE MOVIMENT D'UN VAIXELL AMB DP.....	19
1.5 L'EVOLUCIÓ DEL DP .....	21

## CAPÍTOL 2. LA TECNOLOGIA DP I ELS SEUS COMPONENTS..... 22

2.1 CONCEPTE DE REDUNDÀNCIA .....	22
2.2 CLASSIFICACIÓ DELS SISTEMES DP .....	24
2.2.1 CLASSE 1 .....	24
2.2.2 CLASSE 2 .....	25
2.2.3 CLASSE 3 .....	25
2.2.4 COMPARACIÓ ENTRE CLASSES.....	26
2.2.5 CLASSIFICACIÓ DP SEGONS LES SOCIETATS DE CLASSIFICACIÓ MÉS IMPORTANTS .....	27
2.3 COMPONENTS DE LA TECNOLOGIA DP .....	28
2.3.1 SISTEMES DE REFERÈNCIA / SISTEMES DE LA MONITORITZACIÓ DE LA POSICIÓ.....	28
2.3.2 SENSORS DE MESURA.....	40
2.3.3 EQUIPS PROPULSORS I DE GOVERN .....	46
2.3.4 EL MODEL MATEMÀTIC DEL VAIXELL .....	55
2.3.5 SISTEMES DE GENERACIÓ, PROVEÏMENT I GESTIÓ DE L'ENERGIA I LES SEVES PARTS .....	56
2.3.5.1 SISTEMES DE GENERACIÓ, PROVEÏMENT I GESTIÓ DE L'ENERGIA ELÈCTRICA AL VAIXELL .....	56
2.3.5.2 DIFERENTS PARTS DEL SISTEMA DE GENERACIÓ, PROVEÏMENT I GESTIÓ DE L'ENERGIA ELÈCTRICA AL VAIXELL.	
60	

## CAPÍTOL 3. VAIXELLS AMB EL SISTEMA DE POSICIONAMENT DINÀMIC I LES SEVES OPERACIONS..... 62

3.1 TIPUS DE VAIXELLS AMB EL SISTEMA DE POSICIONAMENT DINÀMIC .....	62
3.1.1 VAIXELLS PLATAFORMA DE SUBMINISTRAMENT O PSV ( <i>PLATFORM SUPPLY VESSEL</i> ) / VAIXELL DE SUBMINISTRAMENT D'ALTA MAR O OSV ( <i>OFF-SHORE SUPPORT VESSEL</i> ). .....	62

3.1.2	VAIXELLS DE SUPORT AL BUSSEIG O <i>DSV (DIVING SUPPORT VESSEL)</i> I VAIXELLS D'ASSISTÈNCIA DE ROV ( <i>REMOTELY OPERATED VEHICLE</i> )	63
3.1.3	VAIXELLS DE PERFORACIÓ O <i>DRILL SHIPS</i>	63
3.1.4	VAIXELLS D'ESTESA I REPARACIÓ DE CABLES O <i>CABLE LAY AND REPAIR VESSEL</i>	64
3.1.5	VAIXELL D'ESTESA DE CANONADES O <i>PIPE LAYING VESSEL</i>	65
3.1.6	DRAGUES	65
3.1.7	VAIXELLS GRUA I BARCASSES DE GRUA	66
3.1.8	VAIXELLS D'ABOCAMENT DE ROCA O " <i>DUMPING VESSELS</i> "	66
3.1.9	VAIXELLS DE PASSATGE	67
3.1.10	VAIXELLS SEMI-SUBMERGIBLES D'ELEVACIÓ PESADA O <i>SEMI-SUBMERGIBLE HEAVY-LIFT VESSELS</i>	67
3.1.11	UNITATS MÒBILS DE PERFORACIÓ MARINA / VAIXELLS <i>MODU (MOBILE OFFSHORE DRILLING UNIT)</i>	68
3.1.12	VAIXELL CISTERNA DE TRANSBORD O <i>TANKER SHUTTLE</i>	69
3.1.13	UNITAT FLOTANT DE PRODUCCIÓ, EMMAGATZEMATGE I DESCÀRREGA O VAIXELLS <i>FPSO (FLOATING PRODUCTION, STORAGE AND OFFLOADING UNIT)</i>	69
3.1.14	VAIXELLS I OPERACIONS NAVALS	70
3.2	OPERACIONS QUE UTILITZEN EL SISTEMA DP	71
3.2.1	OPERACIONS AMB LA INDÚSTRIA DEL PETROLI I DEL GAS	71
3.2.2	OPERACIONS DE BUSSEIG I AMB VEHICLES REMOTAMENT OPERATS O ROV ( <i>REMOTELY OPERATED VEHICLE</i> )	75
3.2.3	OPERACIONS D'ESTESA I REPARACIÓ DE CABLEJAT	79
3.2.4	OPERACIONS ANCHOR-HANDLING I DE SUBMINISTRAMENT A PLATAFORMES	85
3.2.5	OPERACIONS D'ESTESA DE CANONADES I CREACIÓ DE FOSSES	86
 CAPÍTOL 4. CERTIFICACIÓ DEL PERSONAL DP		 93
4.1	REGULACIÓ DE LA FORMACIÓ I L'EXPERIÈNCIA DEL PERSONAL DP	93
4.2	ESQUEMA D'ENTRENAMENT DEL <i>NAUTICAL INSTITUT (NI)</i> PER A OPERADORS DP	95
4.3	PAUTES D'ENTRENAMENT DE L'IMCA	100
4.4	LLIBRES DE REGISTRE PERSONAL DP	101
 CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS		 103
 CAPÍTOL 6. BIBLIOGRAFIA		 105
6.1	MANUALS, LLIBRES I DOCUMENTS	105
6.2	BIBLIOGRAFIA IMCA	106
6.3	WEB GRAFIA	106
 GLOSARI D'ACRONIMS		 109



---

# LLISTAT DE FIGURES

Figura 1: Vaixell Cuss 1 .....	17
Figura 2: Vaixell Eureka .....	18
Figura 3: Vaixell SEDCO 445 .....	18
Figura 4: Esquema d'un embarcació i els seus 6 graus de llibertat.....	20
Figura 5: Comparació entre un monitor de DP antic i un d'actual.....	21
Figura 6: Esquema de redundància d'un sistema DP3 – .....	23
Figura 7: El Michael Lawrence: un vaixell de càrrega amb sistema DP1.....	24
Figura 8: Vaixell plataforma de subministrament amb sistema DP2 .....	25
Figura 9: “Surf Allamanda”. El primer DP3 .....	25
Figura 10: Esquema del sistema DP, propulsió i propulsors .....	26
Figura 11: Representació dels 27 satèl·lits Navstar que componen el GPS .....	29
Figura 12: Diagrama del GPS diferencial .....	30
Figura 13: Diagrama del GPS cinemàtic de temps real .....	31
Figura 14: Diagrama USBL/SSBL .....	33
Figura 15: Diagrama SBL amb transponedor fixe a l'ancoratge .....	34
Figura 16: Diagrama SBL amb transponedor mòbil a l'ancoratge.....	34
Figura 17: Diagrama LBL de 4 transponedors en una plataforma.....	35
Figura 18: Grua Davit o A-frame.....	36
Figura 19: Principi d'operació del sistema de referència filferro Taüt.....	37
Figura 20: Sistema de Cable Taüt amb el pes depressor.....	37
Figura 21: Exemple de com el làser detecta l'estructura fixe que li serveix per posicionar-se dinàmicament.....	38
Figura 22: Funcionament del sistema de làser Artemis .....	39
Figura 23: Parts que integra el conjunt del sistema Artemis .....	39
Figura 24: Abast dels diferents sistemes de referència amb làser.....	40
Figura 25: Representació d'un giroscopi elemental.....	41
Figura 26: Unitat de referència vertical (VRU) .....	42
Figura 27: Anemòmetre comú del fabricant FURUNO .....	43

Figura 28: Esquema del sensor de vent juntament amb les pantalles que digitalitzen els valors de força i direcció .....	43
Figura 29: Unitat de Mesura Inercial IMU .....	44
Figura 30: Sensor de vent i sensors meteorològics d'un vaixell.....	45
Figura 31: Corredora doppler i el monitor corresponent situat en el pont de comandament.....	45
Figura 32: Exemple d'hèlix transversal (WTT – 40) .....	48
Figura 33: Propulsors azimuthals de doble hèlix Siemens-Schottel.....	48
Figura 34: Propulsor azimuthal de contra-rotació .....	49
Figura 35: Propulsor azimuthal/pulling .....	50
Figura 36: Propulsor azimuthal desmuntable .....	50
Figura 37: Sistema d'hissat d'un propulsor azimuthal desmuntable per un fàcil muntatge i desmuntatge .....	51
Figura 38: Propulsor azimuthal retràctil Rolls-Royce .....	52
Figura 39: Diferents posicions que el propulsor azimuthal combinat/lateral és capaç d'adoptar .....	53
Figura 40: Propulsor azimuthal telescòpic de Rolls-Royce .....	54
Figura 41: Representació d'un propulsor White Gill .....	55
Figura 42: Propulsor White Gill .....	55
Figura 43: Esquema dels motors, generadors, panells principals i propulsors .....	57
Figura 44: Esquema de la planta dièsel-elèctrica.....	61
Figura 45: Vaixell plataforma de subministrament o PSV .....	62
Figura 46: Vaixell de suport al busseig "Seven Havila" .....	63
Figura 47: Vaixell de perforació "West Vela" .....	64
Figura 48: Vaixell Cabler .....	64
Figura 49: Vaixell d'estesa i reparació de cable.....	65
Figura 50: Draga "Deme Brabo" .....	65
Figura 51: Vaixell grua "Gulliver" DP2 .....	66
Figura 52: Vaixell d'abocament de roca .....	66
Figura 53: Vaixell de passatge .....	67
Figura 54: Vaixell semi-submergible d'elevació pesada.....	68
Figura 55: Vaixell MODUs "Stena Don" .....	68
Figura 56: Vaixell cisterna de transbord.....	69
Figura 57: Vaixell FPSO .....	70

Figura 58: Vaixell de patrulla d'alta mar "Knud Rasmussen" .....	70
Figura 59: Shuttle Tanker operant sota el principi de weathervaning .....	72
Figura 60: Descàrrega en tàndem .....	74
Figura 61: Esquema del sistema de torreta submergida .....	75
Figura 62: Tècniques utilitzades de busseig segons la profunditat.....	76
Figura 63: Diagrama de les distàncies mínimes umbilicals-propulsors en operacions de busseig .....	77
Figura 64: Esquema del moviment de l'operativa de seguiment entre el ROV i el vaixell.....	78
Figura 65: Vestit de busseig atmosfèric .....	78
Figura 66: Representació de l'estudi detallat de les cartes de navegació i cartes de batimetria .....	79
Figura 67: Mètode d'estiba per a l'embarcament del cable .....	80
Figura 68: Moment de l'amarratge del cable a la xarxa terrestre.....	81
Figura 69: Arada per a la col·locació del cable .....	82
Figura 70: Repetidor de senyal del cable submarí .....	82
Figura 71: Màquina que utilitza la tècnica clàssica per a la col·locació de cable .....	83
Figura 72: Àncora de tipus ruixó .....	83
Figura 73: Diferència entre el cablejat submarí del 1990 i el de 2016.....	84
Figura 74: Vaixell encarregat d'operacions anchor-handling "Go Phoenix" .....	85
Figura 75: Diferents mètodes d'estesa de canonades .....	86
Figura 76: Instal·lació S-lay .....	87
Figura 77: Vaixell d'estesa de canonades amb geometria S-lay .....	87
Figura 78: Instal·lació J-lay.....	88
Figura 79: Vaixell J-lay .....	88
Figura 80: Instal·lació Ree-lay.....	89
Figura 81: Vaixell d'instal·lació Ree-lay .....	89
Figura 82: Draga "Shanti Sagar" .....	90
Figura 83: Representació de la funció d'Auto-track.....	91
Figura 84: Representació de l'operativa d'un vaixell d'abocament de roques .....	92
Figura 85: Fases per l'entrenament d'un DPO.....	96
Figura 86: Informe que omple el Capità en la Fase 5 de la formació DPO.....	99
Figura 87: Llibre de registre del DPO del NI .....	101
Figura 88: Llibre de registre del DPO de la IMCA .....	102

---

# LLISTAT DE TAULES

Taula 1: Graus de llibertat del vaixell on cada número està presentat a la figura X.....	20
Taula 2: Notacions de classe i les classes d'equips per Lloyd's Register, DnV i ABS .....	27
Taula 3: Desglossament de l'error total del GPS .....	29





# CAPÍTOL 1. HISTORIA DEL DESENVOLUPAMENT DEL POSICIONAMENT

## 1.1 Introducció i la necessitat industrial

Des de temps memorables, com a éssers humans sempre s'ha tendit a perfeccionar les comeses i tasques a realitzar i s'han volgut anar fent més eficientment. Sempre s'ha aspirat tant a ser més precís com a ser més eficaç. S'és portador de grans avanços i idees que han permès créixer i complir les aspiracions proposades d'especialització. En el sector marítim no ha estat una excepció i ha estat un exemple clau de desenvolupament en els últims anys.

Aquest exemple es pot veure clar fent una comparativa entre la navegació de fa 100 anys i l'actual. Els vaixells i les seves formes són més eficients actualment, les maniobres són més precises, les proporcions i la capacitat dels vaixells són molt més grans, i sobretot es pot apreciar en el perfeccionament de les tècniques de navegació i en tots els sistemes de localització i posicionament. La implantació de la tecnologia als vaixells actuals ha permès una navegació molt més precisa i molt més còmode en molt pocs anys.

És per això, que aquest treball tractarà sobre el sistema de Posicionament dinàmic, també anomenat DP (*Dynamic Positioning*, en anglès), un sistema que ens ha permès un control a temps real de la posició i el rumb d'un vaixell, podent-la tenir controlada en tot moment per facilitar tan la realització d'operacions i maniobres que necessiten més precisió, com operacions realitzades a alta mar i de més dificultat, també anomenades operacions *offshore*.

Cap a mitjans de la dècada del 1890 es van realitzar les primeres perforacions de petroli a prop de costa. Aquestes, van esdevenir a pous des de plataformes de formigó i no va ser fins a principis del s.XX, el 1930, que Texaco<sup>1</sup> va realitzar, amb les anomenades barcasses "*jack-up*", les primeres extraccions a zones fora de costa. Eren barcasses mòbils d'acer que permetien perforar per extreure petroli de pous submarins i es va ser així fins a finals dels anys 50.

Va arribar el punt, que les condicions i la demanda de petroli va obligar a les petrolíferes d'aleshores a perforar a jaciments més grans i allunyats. Per aquesta raó, treballar amb barcasses cada cop en aigües més profundes i allunyades de la costa, no sortia rentable i l'ancoratge tampoc econòmic.

Va ser per això que es va haver de buscar una solució i no va ser fins el 1961, que es va extreure petroli d'on no s'havia pogut extreure fins aleshores.

---

<sup>1</sup> Texaco: "The Texas Company", és una empresa estatunidenca petroliera subsidiària de Chevron Corporation.

L'anomenat *Cuss 1* (Fig. 1), va ser el primer vaixell equipat amb quatre propulsors orientables, permetent mantenir el vaixell estàtic, controlat manualment, a sobre del pou de petroli d'on es volia perforar, a 948 metres de profunditat.



Figura 1: Vaixell Cuss 1 – font: [www.nedcon.ro](http://www.nedcon.ro)

A partir de llavors, en qüestió de menys de 10 anys, la companyia “Shell” va fer dissenyar i llençar el primer vaixell de perforació amb un sistema de control analògic. Aquest vaixell va ser anomenat *Eureka* i es pot dir que va ser el primer vaixell verdader de posicionament dinàmic.

Des de llavors, s’han realitzat grans millores i avui en dia el DP no només s’utilitza a l’empresa petrolífera, sinó que també s’utilitza en una varietat de vaixells molt àmplia. A més, no només manté la posició sinó que permet seguir un rumb exacte, fent possible moltes operacions que abans no eren factibles.

## 1.2 El primer vaixell amb posicionament dinàmic

Així doncs, el primer vaixell considerat DP va ser l’*Eureka* (Fig. 2), ja que va disposar abans que qualsevol altre vaixell, d’un sistema de control analògic dels propulsors.

Aquest vaixell estava equipat amb propulsors a proa i popa capaços de girar 360° (propulsors azimuthals), un controlador analògic i un filferro tensat bàsic que aleshores s’utilitzava com a mesurador d’inclinació.

L'home que va fer això possible va ser *Howard Shatto*, un enginyer de Shell<sup>2</sup>, pioner i inversor de l'idea del DP.



Figura 2: Vaixell Eureka – font: [www.dynamic-positioning.com](http://www.dynamic-positioning.com)

Cal dir que, tot i que l'*Eureka* va ser el primer vaixell amb aquest sistema i que va marcar una nova era tecnològica en operacions a alta mar, en aquell moment es va acabar utilitzant principalment per a recollir mostres dels nuclis de perforació i no per extreure'n petroli. Va estar per això, que fins l'any 1971 no va ser dissenyat ni llençat un vaixell amb DP amb el propòsit únic de l'extracció de petroli: el SEDCO 445.

L'anomenat SEDCO 445 (Fig. 3), va ser el primer vaixell amb DP de perforació construït amb l'objectiu de perforar jaciments de petroli per extreure'l. Estava equipat amb un sistema que servia per mantenir la posició automàticament anomenat sistema *ASK (Automatic Station Keeping)*, també desenvolupat per Howard Shatto.



Figura 3: Vaixell SEDCO 445 – font: [www.balticshipping.com](http://www.balticshipping.com)

---

<sup>2</sup> Shell: companyia multinacional de la indústria química i extracció del petroli i gas natural.

El sistema ASK és com el sistema de control de propulsors *TCS* (*Thruster<sup>3</sup> Control System*) però, mentre que la funció principal del *TCS* és permetre que un operador controli individualment cada element de propulsió, el sistema ASK proporciona un rendiment de posicionament dinàmic d'alta qualitat i confiabilitat, apart de proporcionar una direcció i un control automàtic i coordinat de tot el sistema de propulsors tant al llarg d'una operació durant la navegació com durant una maniobra de curta distància.

### 1.3 Principis del DP

Un vaixell de Posicionament dinàmic és una embarcació que controla automàticament la posició, el rumb i/o la derrota predeterminada exclusivament amb la utilització de les seves forces d'empenyiment i la propulsió activa. El DP, no només és una simple peça d'equipament, sinó que és una capacitat del vaixell aconseguida mitjançant la integració d'un conjunt de sistemes, de sensors i de funcions.

Realment, el cor i el cervell de qualsevol sistema DP és un ordinador que el controla. Aquest ordinador, rep la informació d'una gran varietat de fonts (senyors de moviment, de vent, de corrent,...) i el que fa és generar un algorisme (model matemàtic) que integra comandaments que envia als propulsors fent que controlin i maniobrin el vaixell.

Tot sistema de regulació i control, necessita un punt de referència o valor desitjat del que partir (*Set Point<sup>4</sup>*). En el context del *Dynamic positioning*, aquest valor desitjat és una posició geogràfica i un rumb concrets, els dos introduïts per un Oficial al càrrec del sistema DP o *DPO* (*Dynamic Positioning Operator*). La informació de la posició i el rumb és contínuament transmesa al ordinador, fent que aquest obtingui la desviació o diferència amb el valor de referència, i donant les ordres pertinents al sistema de propulsió i govern del vaixell per reduir o mantenir l'error a zero.

Aquesta tecnologia permet operacions a alta mar on abans era impossible mantenir-se amarrat o fondejat, degut a la sonda, a les característiques de l'ancoratge o a la naturalesa congestionada del fons (tubs, cables o altres obstacles).

### 1.4 Graus de llibertat de moviment d'un vaixell amb DP

Tot vaixell, sigui amb posicionament dinàmic o sigui un artefacte flotant, està sotmès a 6 graus de moviment. 3 de rotació i 3 de translació. El DP per això, s'enfoca principalment al control dels moviments del vaixell en el pla horitzontal: avanç-retrocés (*surge*), guinyada (*yaw*) i desplaçament lateral (*sway*).

---

<sup>3</sup> Thruster: Propulsor

<sup>4</sup> Set Point: Punt acordat o desitjat

• <b>Moviments de translació:</b>	• En el pla vertical, elevació-descens o deriva vertical ( <i>heave</i> )	1
	• En el pla transversal, babord-estribord o deriva lateral ( <i>sway</i> )	2
	• En el pla horitzontal, avanç-retrocés o deriva longitudinal ( <i>surge</i> )	3
• <b>Moviments de rotació:</b>	• Sobre la vertical, la guinyada ( <i>yaw</i> )	4
	• Sobre la línia horitzontal transversal, el capcineig ( <i>pitch</i> )	5
	• Sobre la línia horitzontal longitudinal, el balanç ( <i>roll</i> )	6

Taula 1: Graus de llibertat del vaixell on cada número està presentat a la figura 4 – font: d'autor

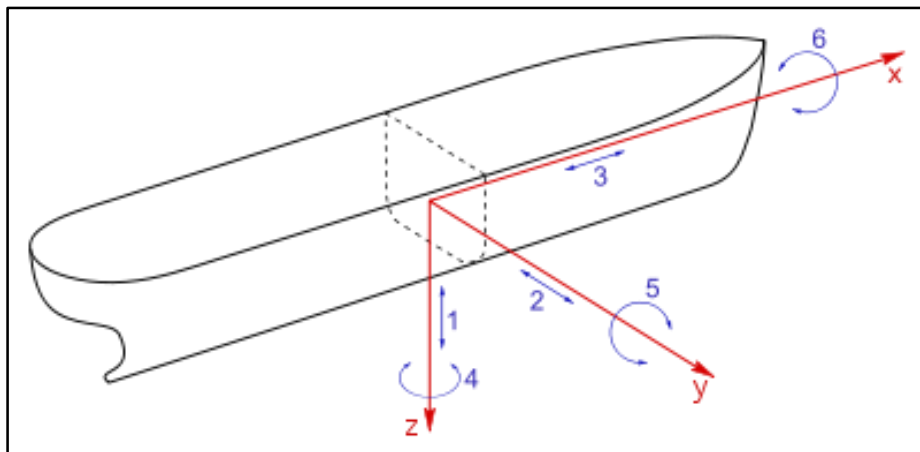


Figura 4: Esquema d'un embarcació i els seus 6 graus de llibertat – font: d'autor

El balanceig, el capcineig i la deriva vertical són moviments que no poden ser controlats per un sistema DP. Pel contrari, el DP ha d'estar informat d'aquests valors per corregir les lectures dels sensors de posició respecte al centre de gravetat del vaixell. La unitat encarregada de mesurar aquests valors és la MRU (*Motion Reference Unit*). Encara que avui en dia ja s'estan començant a equipar vaixells amb Posicionament dinàmic amb quilles de balanceig intel·ligents i sistemes de llast “*intering*”<sup>5</sup> similars als existents als vaixells Roll On – Roll Off actuals.

<sup>5</sup> Interling: sistema antiescora que garanteixi que un vaixell es mantingui estable durant les maniobres de càrrega i descàrrega

## 1.5 L'evolució del DP

El desenvolupament i l'especialització en tots els sistemes de navegació, incloent el DP, sempre ha estat present. No obstant, aquest últim segle, amb les noves tecnologies i el creixement tecnològic, l'avanç ha estat exponencial.

*Howard Shatto*, el pare del sistema DP, sempre havia dit que hi havia més a fer i que les tecnologies sempre es podien millorar. És per això que des de la seva invenció i llançament, no s'ha dubtat ni un moment en un futur amb DP.

Al llarg dels anys, els únics aspectes que no han canviat en el *Dynamic Positioning* són els principis bàsics del seu funcionament i els fonaments del sistema. Els requisits, les normes i els reglaments referents al Posicionament dinàmic han anat variant des dels seus inicis, canviant i millorant-se per satisfer les creixents demandes de rendiment, qualitat i fiabilitat; i els fabricants principals d'equipaments i sensors, han hagut d'anar evolucionant i ser més proactius i estrictes per complir les expectatives de precisió i qualitat amb tota la competència que hi ha actualment.

El funcionament del mercat actual vist de manera ràpida, es pot dir que cada cop tendeix més a limitar el preu d'un producte amb la qualitat dels materials, la seva durabilitat, la precisió dels seus components i el renom del fabricant, és per això, que la competència sempre ha estat present i sempre ha existit una intenció de perfeccionament, també, en el sistema de Posicionament dinàmic.

En l'actualitat, la tasca principal segueix sent pràcticament la mateixa que la de al llarg de tots aquests anys: mesurar principalment la posició i diferents característiques de l'embarcació de manera constant i a temps real. Segons tota l'evolució del DP i l'avanç i perfeccionament de tots aquests anys, fa que l'objectiu sigui comú entre fabricants i desenvolupadors i és el de seguir ideant. D'aquesta manera, es segueix esforçant per contribuir a la creixent demanda del mercat i de vaixells més "intel·ligents" i aconseguir una major innovació pel que fa la fiabilitat, una major senzillesa dels monitors, una robustesa mecànica i rendiment, tant amb la sensibilitat com amb la precisió.



Figura 5: Comparació entre un monitor de DP antic i un DP d'actual – font: [www.marineinsight.com](http://www.marineinsight.com)

[www.dphotographer.co.uk](http://www.dphotographer.co.uk)



# CAPÍTOL 2. LA TECNOLOGIA DP I ELS SEUS COMPONENTS

## 2.1 Concepte de redundància

Els vaixells DP duen a terme diferents tasques i operacions algunes de les quals són crítiques des del punt de vista de la seguretat. És per això que prèviament a les operacions s'ha d'analitzar les possibles conseqüències d'una fallada del sistema DP.

Hi ha certes operacions en què un error o mal funcionament del sistema significa un "viatge no desitjat" fora de la zona definida o, per contra, una completa pèrdua de control de la posició i del vaixell. Tots dos són classificats com "errors fatals o catastròfics". Les conseqüències d'aquests errors es classifiquen en aquests tres: Risc del personal, de la propietat o contaminació del medi ambient. L'objectiu de la redundància, és assegurar que el sistema en el seu conjunt funciona correctament tot i perdre un element individual o subsistema, evitant els anomenats "errors catastròfics".

Així doncs, es denomina redundància a la capacitat que té el sistema *Dynamic Positioning* per seguir funcionant després de suportar la pèrdua de funcionament de qualsevol component individual o subsistema que el compon i que no es produeixi un error fatal. Bàsicament, la funció de la redundància és que el sistema de posicionament no deixi de ser efectiu ni eficient en el cas de que algun component individual del sistema deixi de funcionar, és a dir, que seguis mantenint les seves característiques de funcionament de manera òptima.

Un exemple de redundància podria ser el poder-se retirar de forma segura d'una zona de treball després d'haver patit algun error dels elements del sistema. Degut a la dificultat de les operatives, és molt determinant el poder disposar de redundància o no, ja que la majoria no poden realitzar-se si no es disposa de la capacitat del DP ni la seva ajuda. A més, moltes vegades el simple fet d'una retirada segura d'una zona de treball en la que existeix un difícil accés, es fa impossible sense les habilitats que ens ofereix el sistema de posicionament dinàmic.

### Factors a tenir en compte pels sistemes que proporcionen redundància

Els aspectes perquè els sistemes DP es consideri més robust i segur es resumeixen en els següents punts:

- Sempre s'ha d'intentar que la majoria d'elements que componen el vaixell siguin el més independents possible. D'aquesta manera, s'evitaria l'anomenat Mode d'Errada Comú o



CMF (*Common Mode Failures*), evitant que l'error d'un component o subsistema aliè contribuís a la caiguda d'altres elements que realment no estan fets malbé.

- Tots els sistemes que proporcionen redundància al vaixell, haurien de disposar de la màxima segregació possible un respecte l'altre. Així aconseguiríem que tinguessin el mínim de punts possibles en comú i s'aconseguiria evitar que una errada es propagués d'un element a un altre.
- La major part possible d'elements que posseeix el vaixell haurien de disposar d'autonomia pròpia tant en el seu control com en l'abastiment d'energia. D'aquesta manera, s'evitaria que un fallo en els generadors o en els panells distribuïdors d'energia desconnectessin l'element o el sistema en qüestió.
- Sempre s'hauria de tractar, en la mesura del possible, de dissenyar i construir sistemes que permetin el màxim número d'errades sense que es redueixi la tolerància. En la part del disseny del vaixell han de ser estudiades totes les pitjors situacions possibles en les que el vaixell es pot veure immers i així buscar solucions alternatives a problemes.
- Els elements que formen els equips i sistemes han d'oferir una gran resistència. Aquests han de ser construïts de manera que puguin suportar temperatures extremes, tant màximes com mínimes, i que els permetin treballar a nivells alts d'humitat.
- Per últim, s'hauria de disposar de diferents tipus de sistemes de referència de posició, ja que ajuda a evitar lectures errònies dels sensors i dels diferents sistemes que depenguin de les mateixos sensors.

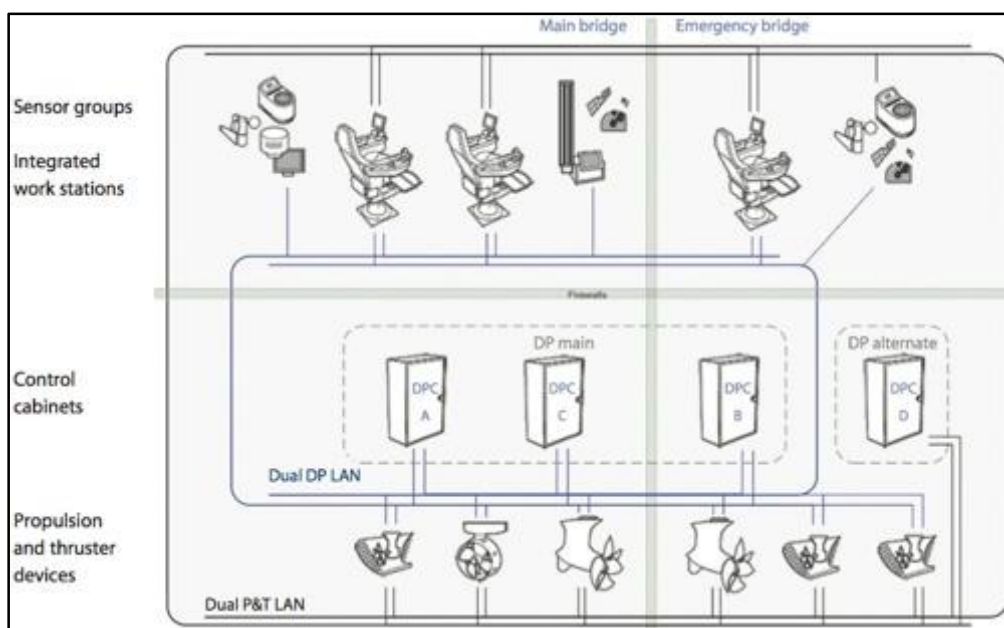


Figura 6: Esquema de redundància d'un sistema DP3 – font: [www.articles.maritimepropulsion.com](http://www.articles.maritimepropulsion.com)

## 2.2 Classificació dels sistemes DP

Els vaixells equipats amb el sistema DP han de ser vaixells molt precisos i no poden cometre cap errada, ja que depenent de la dificultat de l'operativa que s'estigui realitzant, es pot dependre de com respondrà el sistema.

Hi ha diverses maniobres i operacions amb DP que no permeten cap petit error durant la tasca ja que pot suposar la seva cancel·lació i la retirada del vaixell per evitar posar en risc la seguretat del mateix, dels tripulants i/o del medi ambient. Depenent de l'eficiència de la tecnologia DP, de la seva resistència contra forces indesitjables i adversitats meteorològiques, es pot classificar en una o altre classe.

D'aquesta manera, la OMI (*Organització Marítima Internacional*) defineix i classifica els sistemes de Posicionament Dinàmic segons la tipologia de control i les característiques de moviment en 3 classes diferents. Basant-se en les seves publicacions, les Societats de Classificació han emès legislacions i normes pels vaixells amb DP descrites com Classe 1, Classe 2 i Classe 3.

### 2.2.1 Classe 1

La Classe 1 del sistema de DP permet tenir un control de la posició i del rumb tant de manera manual com automàtica sota unes condicions de temps conegudes. És utilitzat en operacions en les quals la pèrdua de la capacitat per mantenir la posició pot ocasionar danys materials i/o al medi ambient limitats. En el cas que s'originés una errada aïllada es podria quedar sense el control de la posició i rumb. Aquesta classe no té redundància.



Figura 7: El Michael Lawrence: un vaixell de càrrega amb sistema DP1 – font: [www.gulf-resource.com](http://www.gulf-resource.com)

### 2.2.2 Classe 2

La Classe 2 del sistema de DP permet tenir un control de la posició i del rumb tant de manera manual com de manera automàtica sota unes condicions de temps màximes conegudes, durant i després de l'errada de qualsevol element individual del sistema. És utilitzat en maniobres en les quals la possibilitat de pèrdua del rumb o posició pot originar danys personals, materials i/o del medi ambient de gran impacte econòmic. Aquesta classe té redundància i la seva funció principal és perquè cap error d'un element individual en el sistema actiu provoqui un error del sistema total. La pèrdua de posició no pot produir-se per una errada única en un component actiu com per exemple que fallin els generadors, les vàlvules controlades a distància, etc. però sí que pot produir-se per l'errada d'un component estàtic com els cables, les vàlvules manuals, etc.



Figura 8: Vaixell plataforma de subministrament amb sistema DP2 – font: [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com)

### 2.2.3 Classe 3

La Classe 3 dels sistemes DP és la més complexa. Aquesta classe disposa d'un control manual i automàtic de la posició i del rumb sota unes condicions meteorològiques màximes conegudes, durant i després del error de qualsevol element individual del sistema, incloent la pèrdua d'un compartiment degut al foc o a la seva inundació. És utilitzat en operacions d'alt risc en les quals la pèrdua de la posició o del rumb pot desencadenar la mort, una contaminació severa i/o danys materials de gran impacte econòmic. Aquesta classe té redundància.



Figura 9: "Surf Allamanda". El primer DP3 - font: [www.marinetraffic.com](http://www.marinetraffic.com)

### 2.2.4 Comparació entre classes

A vista general, un vaixell no presenta característiques físiques ni estructurals diferents depenent de la classe de sistema de posicionament dinàmic amb el que se'l classifiqui, sinó que la classificació va en funció del que pot arribar a rendir un vaixell després d'una averia, oferint precisió durant una maniobra de més o menys complexitat, oferint certa seguretat mentre està en operació i si segueix oferint les capacitats que ens proporcionaria en cas de que no hagués tingut cap error el sistema.

El que indica aquesta classificació és, que en cas d'error en algun component individual o no del sistema, el DP-1 té grans possibilitats de perdre la seva posició i el seu rumb, mentre que el DP-2 i DP-3, ens donen i ofereixen un major grau de seguretat en el manteniment del rumb o la posició que permeti una retirada segura de la zona de treball.

D'aquesta manera, un vaixell es pot elegir entre més o menys complex y més o menys econòmic depenent de la dificultat d'una operació i dels riscos que suposi, podent abaratir, per exemple, en el cost d'una operació en la que s'utilitzaria un vaixell amb DP-1 i s'utilitza un DP-2.

La OMI, per això, té en ment normalitzar el tipus de sistema a utilitzar segons els riscos de la feina per els quals el vaixell estigui destinat. D'aquesta manera, posteriorment de l'elecció de la classe del sistema DP, armador i flotador hauran de elaborar un document amb els possibles riscos i conseqüències en el cas d'un desastre durant la operació. L'anàlisi d'aquest document donarà com a resultat l'elecció d'un sistema més o menys complex, de la Classe 1 a la Classe 3. Com major sigui el desastre que es pugui produir, més complex i segur haurà de ser el sistema a utilitzar

A més a més, entre el propietari del vaixell i el client s'haurà de detallar la operació amb tots els riscos que puguin produir-se tenint en compte els imprevists. Els resultats dels riscos de l'operació determinaran l'equipament que necessiti el vaixell. A mesura que augmenten les conseqüències dels riscos de la operació, augmenta també el tipus de sistema de DP.

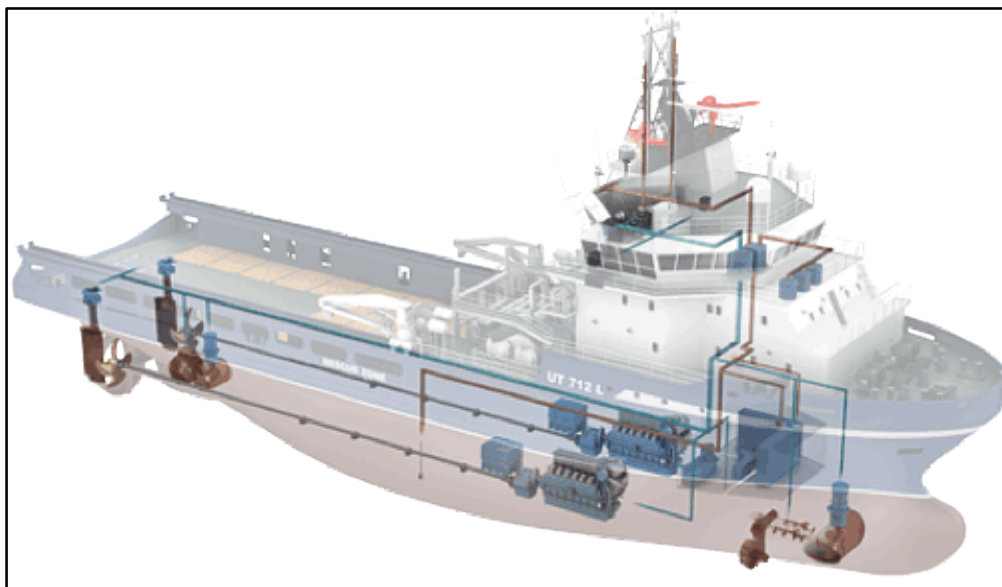


Figura 10: Esquema del sistema DP, propulsió i propulsors – font: [www.nauticexpo.com](http://www.nauticexpo.com)

### 2.2.5 Classificació DP segons les Societats de Classificació més importants

Una sèrie de societats de classificació emeten notacions de classe per a vaixells equipats amb el sistema de posicionament DP. Les notes de cadascuna de les societats varien, però totes es centren amb les mateixes bases i principalment al compliment de les classes d'equips.

A la taula de a continuació es mostren les notacions de classe i les classes d'equips corresponents per Lloyd's Register, DnV i ABS:

Descripció	Equipament de Classe segons OMI	Notacions de les classes dels equips corresponents		
		LLR	DnV	ABS
Control de posició manual i control d'encapçalament automàtic sota condicions ambientals màximes especificades. No considerat DP per la OMI.		DP(CM)	DNV-T	DPS0
Posició automàtica i manual i control de rutes sota condicions ambientals màximes especificades.	Classe 1	DP(AM)	DNV-AUT DNV-AUTS	DPS1
Posició automàtica i manual i control d'encapçalament sota condicions ambientals màximes especificades, durant i després de qualsevol falla única que exclou la pèrdua d'un compartiment. (Dos sistemes informàtics independents).	Classe 2	DP(AA)	DNV-AUTR	DPS2
Posició automàtica i manual i control d'encapçalament sota condicions ambientals màximes especificades, durant i després de qualsevol falla individual, inclosa la pèrdua d'un compartiment per incendi o inundació. (Tenen almenys dos sistemes informàtics independents amb un sistema de còpia de seguretat separat).	Classe 3	DP(AAA)	DNV-AUTRO	DPS3

Taula 2: Notacions de classe i les classes d'equips per Lloyd's Register, DnV i ABS – font: [www.dpbasic.net](http://www.dpbasic.net)

## 2.3 Components de la tecnologia DP

El que fa que els vaixells amb sistema de Posicionament dinàmic siguin tant especials és la precisa maniobrabilitat i posicionament que permeten tenir a una embarcació. Tot això, no seria possible si els equips i components que formen el sistema DP no funcionessin en conjunt i no estiguessin construïts com a un sol bloc. Així doncs, és el conjunt d'equips i sensors del sistema de posicionament que el fan tant diferent.

### 2.3.1 Sistemes de referència / Sistemes de la monitorització de la posició

La funció principal d'aquest equip és proporcionar la posició al sistema per poder aplicar o no, les correccions adients per tal de mantenir-la. És la interpretació de la informació a temps real per tal de mantenir la proa.

Un sistema DP es basa en més d'una posició dels sistemes de monitorització de la posició, d'aquesta manera, el sistema compara els valors permetent obtenir una entrada encara més acurada i precisa.

Per a la classe DP2 o DP3, és necessari l'ús de tres sistemes diferents de monitorització del posicionament, dos sistemes no són suficients ja que si un d'ells té un mal funcionament i no és possible transmetre la informació, el sistema de control de posicionament dinàmic no és capaç de distingir quin sistema està malament. Per tant, és necessari tenir almenys 3 sistemes de monitorització de la posició per proporcionar una votació 2 sobre 3 i identificar el conjunt equivocat de dades.

Tot i així, el nombre de sistemes de referència dependrà de diversos factors. En concret, del nivell del risc implicat en l'operació, el nivell de la redundància que és requerit per a l'operació, la disponibilitat de referències d'un tipus convenient i les conseqüències de la pèrdua d'una o més referències de posició. A continuació es presenten els 5 sistemes de monitorització del posicionament utilitzats amb més freqüència:

#### 1. El GPS o Navstar GPS (*Global Positioning System*)

El GPS és un sistema de referència que ens permet determinar la nostre localització a qualsevol lloc del globus terrestre. Dins dels quals, el més comú avui en dia és l'anomenat Navstar GPS: un sistema de navegació ideat pels Estats Units estandarditzat a nivell global.

El Navstar GPS està format per 27 satèl·lits del tipus NAVSTAR (*Navigation Satellite Timing and Ranging*), 24 dels quals estan en constant funcionament. La resta, són de respecte i la seva utilització està reservada exclusivament en cas de cometre's qualsevol incidència.

Aquests tipus de satèl·lits transmeten dos ones portadores corresponents a les bandes anomenades L1 i L2, generades a partir d'un oscil·lador local amb freqüència fixe de 10,23 Mhz. La



banda L1 transmet a 1575,4 Mhz i la banda L2 a 1227,6 Mhz. Les ones L1 i L2 transporten els missatges dels satèl·lits, contenint la informació necessària per a detectar la seva posició: la informació del moviment, l'estat dels satèl·lits i l'anomenat PRN (*Pseudo Random Noise*), una successió d'uns i zeros col·locats aleatòriament que permeten identificar el satèl·lit.

El funcionament d'un receptor GPS es basa en el retorn de la posició del sistema, en termes de coordenades globals, mitjançant la comparació de la distància del receptor GPS des d'almenys 4 satèl·lits diferents. La posició dels satèl·lits es coneix i la distància entre el receptor GPS i el satèl·lit es determina del temps que triga el senyal en viatjar des del satèl·lit fins al mateix receptor GPS.

La precisió del GPS acostuma a ser d'uns 10 metres (tenint en compte que hi ha d'haver unes bones condicions meteorològiques, una vista clara del cel i suficients satèl·lits per poder comparar les coordenades de la posició).

Les fonts d'error per a un sistema de GPS són:

▪ Ionosfera: 4,0 metres	▪ Error Total: 10 metres
▪ Errors de rellotge del satèl·lit: 2,1 metres	
▪ Efemèrides: 2,1 metres	
▪ Troposfera: 0,7 metres	
▪ Receptor: 0,5 metres	
▪ Distorsió <i>Multi-trajecte</i> : 1,0 metres	

Taula 3: Desglossament de l'error total del GPS – font: [www.bourbonoffshore.com](http://www.bourbonoffshore.com)

Tot i que l'error general del GPS acostuma a ser d'uns 10 metres, la seva exactitud dependrà del nombre de satèl·lits que estiguin a la nostra cobertura, de la seva altura i azimuth i del receptor que s'estigui utilitzant.

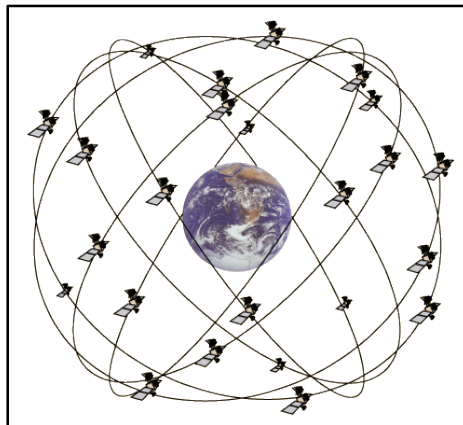


Figura 11: Representació dels 27 satèl·lits Navstar que componen el GPS -  
- font: [www.fisica-microfisica.blogspot.com.es](http://www.fisica-microfisica.blogspot.com.es)

## 2. El DGPS (*Differential GPS*)

El GPS diferencial és essencialment un GPS que utilitza dades de correcció sense cable per corregir l'error i millorar l'exactitud del GPS, mesurant canvis infinitesimals en les variables per rectificar les posicions dels satèl·lits. A més, s'utilitza per àrees molt específiques.

Per el sistema Diferencial GPS es necessita una estació GPS de proximitat per fixar-la com a estació base (*Ground Reference Station*). El que fa aquesta estació GPS fixe és rebre el senyal dels satèl·lits i calcular la distància de l'estació per a cada satèl·lit. D'aquesta manera i de manera simultània, l'estació coneix la ubicació exacta dels satèl·lits i la veritable distància de l'estació per a cada satèl·lit.

En comparar el conjunt de les dos dades (distància GPS i veritable distància), l'estació calcula l'error per a cada satèl·lit. Aquests valors es transmeten instantàniament al sistema GPS del vaixell que suma o resta els valors per corregir les seves pròpies mesures GPS.

La precisió del GPS Diferencial és de 3 metres, oferint més exactitud que el sistema comú GPS.

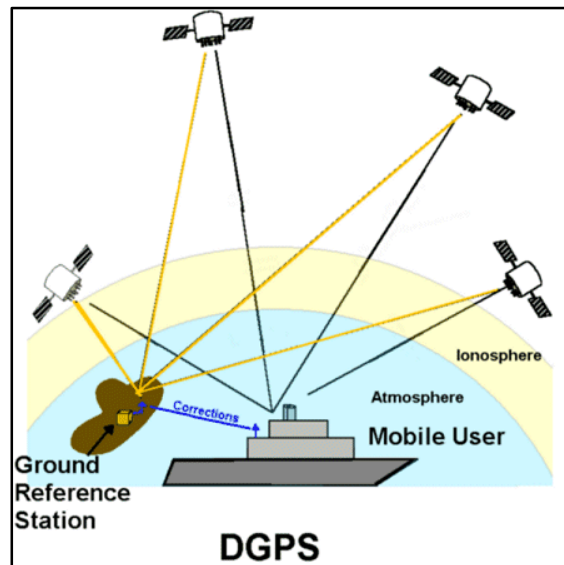


Figura 12: Diagrama del GPS diferencial – font: [www.oc.nps.edu](http://www.oc.nps.edu)

## 3. El RTK GPS (*Real Time Kinematic GPS*)

El GPS cinemàtic de temps real és una tècnica de navegació per satèl·lit. Aquesta tècnica s'utilitza per millorar la precisió de les dades de posició derivades dels sistemes de posicionament basats en satèl·lits, sent utilitzable en conjunció amb el sistemes de posicionament GPS, *GLONASS* i/o *GALILEO*, aquest últim encara en fase d'implementació.

El funcionament del RTK GPS es basa en utilitzar mesures de la fase de l'ona portadora del senyal, en lloc del contingut d'informació de la senyal.

Primerament, una estació fixe de referència proveeix correccions instantànies per a estacions mòbils, el que fa que amb la precisió obtinguda s'arribi al nivell centimètric.



Llavors, l'estació base retransmet la fase de l'ona portadora que ha mesurat i les unitats mòbils comparen les seves pròpies mesures de la fase amb la rebuda de l'estació de referència. Això permet que les estacions mòbils calculin les seves posicions relatives amb precisió mil·limètrica, al mateix temps en que les seves posicions relatives absolutes són relacionades amb les coordenades de l'estació base.

Aquesta tècnica exigeix la disponibilitat d'almenys una estació fixe de referència, amb les coordenades conegudes i ha d'estar dotada d'un receptor GNSS (GPS, DGPS, GALILEO,...) i un mòdem radiotransmissor. L'estació genera i transmet les correccions diferencials per a les estacions, que fan servir les dades per determinar precisament les seves posicions.

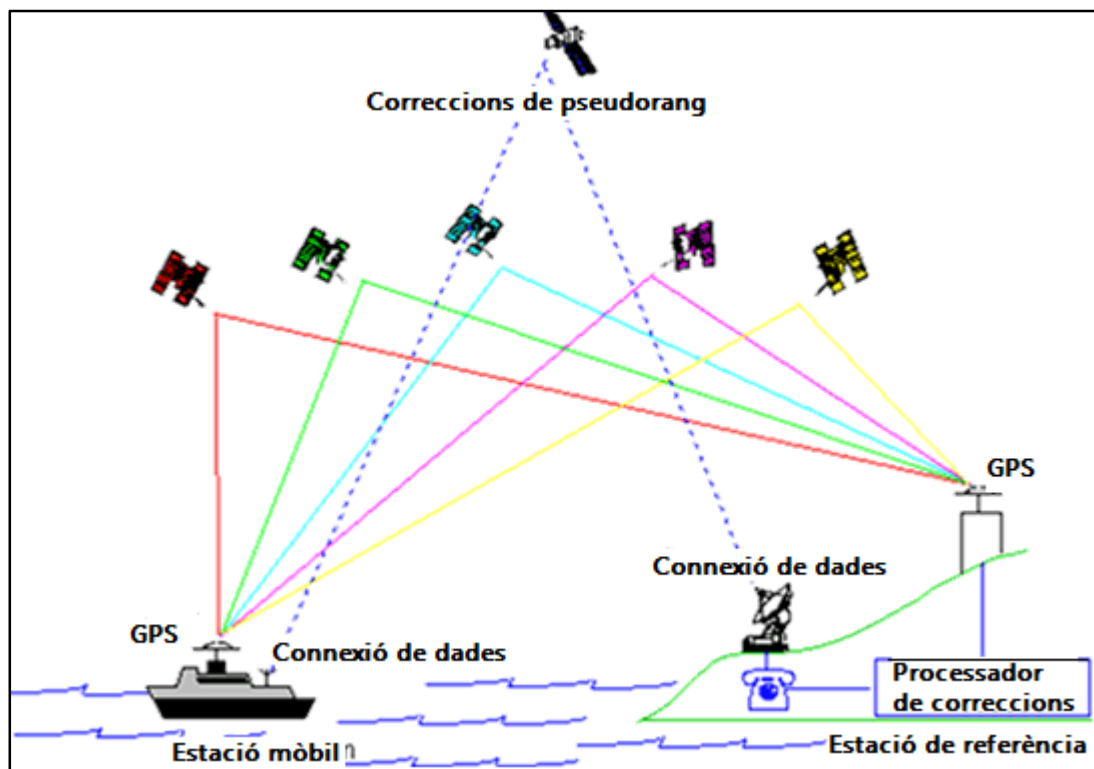


Figura 13: Diagrama del GPS cinemàtic de temps real – font: [www.quora.com](http://www.quora.com)

#### 4. Els sistemes de posicionament hidro-acústic (HPRS: *Hydro-acoustic Position Reference System*).

Aquest quart sistema de referència, obté la posició mitjançant ones acústiques. Els transductors, situats en el mateix vaixell, envien una senyal als transponedors situats prèviament en el fons marí. Seguidament, el transponedor retorna una resposta que rep el transductor. Amb aquesta emissió i recepció, el que s'aconsegueix és mesurar el temps que tarda el senyal en ser emès i en ser rebut. D'aquesta manera, es pot calcular les coordenades de la posició de l'embarcació respecte el transponedor que es troba a l'ancoratge (fons marí).

La exactitud d'aquest equip depèn de la profunditat de l'aigua i de la distància horitzontal entre el transponedor i el transductor. Tot i així, al oferir una gran fiabilitat a l'hora de proporcionar una referència precisa, és utilitzat a la majoria d'operacions amb Posicionament Dinàmic.

Vist el seu funcionament, hi ha tres mètodes diferents que s'utilitzen amb el sistema de posicionament hidro-acústic dependent de les necessitats de l'operació.

**a. Sistemes de línia de base ultra-curta o USBL/SSBL (Ultra-Short/Super-Short Base Line):**

Els sistemes de línia de base ultra-curta utilitzen una sola sèrie de transductors situats en el casc del vaixell per determinar la distància i la demora a un transponedor, fixe o mòbil, que ha estat col·locat al fons marí al costat de l'objectiu que està sent posicionat, retornant una senyal al transductor. El transponedor de USBL pot treballar a unes profunditats d'entre 1000-3000 metres i al ser sistemes generalment fàcils d'instal·lar, s'utilitzen sovint en petites embarcacions o boies.

L'únic inconvenient que suposa aquest tipus de sistema de referència hidro-acústica és pel mateix que es caracteritza, per treballar amb una sola sèrie de transductors y transponedors. Si per raons com condicions de temps adverses o de molt onatge, per exemple, el balanceig és molt ràpid, el resultat es pot veure afectat negativament acumulant un error major.

En el següent diagrama (Fig. 14), la matriu del USBL (*USBL array*<sup>6</sup>) es col·loca en un vaixell i el transponedor es col·loca sobre un cos per al remolc o *towbody*<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> USBL array: Matriu USBL

<sup>7</sup> Towbody: cos de remolc

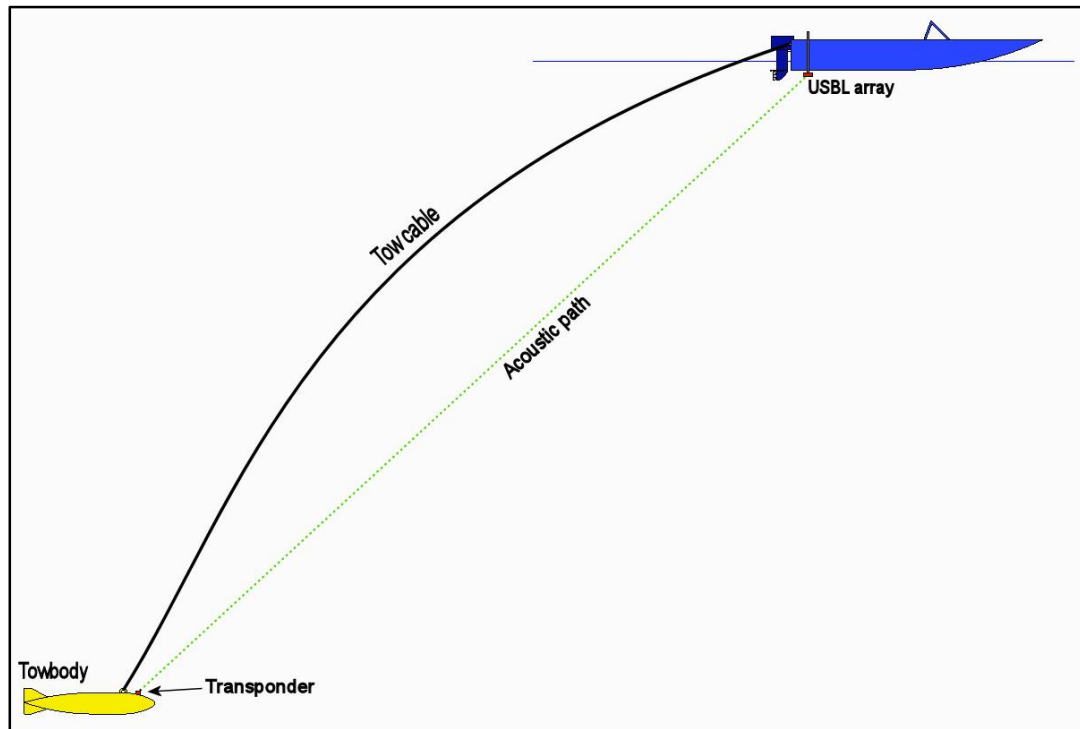


Figura 14: Diagrama USBL/SSBL – font: [www.amloceanographic.com](http://www.amloceanographic.com)

La seqüència d'esdeveniments per a determinar la ubicació d'un és la següent:

1. El sistema USBL emet un pols acústic específic per consultar els transponedors a la zona;
2. El pols viatja a través de l'aigua per al transponedor;
3. El microxip detecta el senyal de USBL i respon amb un pols microxip acústic únic;
4. El pols del transponedor torna a través de l'aigua a la matriu USBL;
5. La matriu USBL detecta el senyal del transponedor i determina el temps de viatge d'anada i tornada acústica i el retard de fase del senyal a cadascun dels transductors de la matriu USBL;
6. La velocitat del so en la matriu USBL s'utilitza per calcular el coixinet rebut del senyal del transponedor;
7. La velocitat mitjana del so de l'aigua s'utilitza per calcular la distància al transponedor.

#### **b. Sistemes de línia de base curta o SBL (Short Base Line):**

Aquest altre tipus de sistema hidro-acústic sol ser utilitzat en vaixells de grans dimensions com plataformes, ja que a diferència dels USBL/SSBL, els SBL poden instal·lar més d'un transductor o més d'una sola sèrie de transductors en el casc del vaixell al treballar amb eslores més grans. Generalment, se solen utilitzar tres transductors separats a una distància d'entre 10 i 50 metres (depenent de l'eslora del vaixell) i un sol transponedor situat de manera fixe o mòbil al ancoratge. El transponedor de SBL pot treballar a unes profunditats de 4000 metres i té més precisió que l'USBL/SSBL si s'utilitza al seu rang de profunditat.

Aquests sistemes utilitzen la triangulació per a determinar les posicions dels transponedors en la proximitat de la matriu, mesurant el rang entre cada transductor SBL i el transponedor. La intersecció que es forma dels arcs (*range arcs*) de cada transductor SBL determina la posició del transponedor amb relació a la matriu SBL. Si el transponedor està unit al sistema de SBL amb umbilical, el rang des del transponedor fins a cada transductor SBL es pot determinar amb un sol pols acústic des del transductor. Pel cas contrari, si no hi ha un cable umbilical, el rang de cada transductor SBL al transponedor i de tornada al transductor SBL s'ha de determinar per separat.

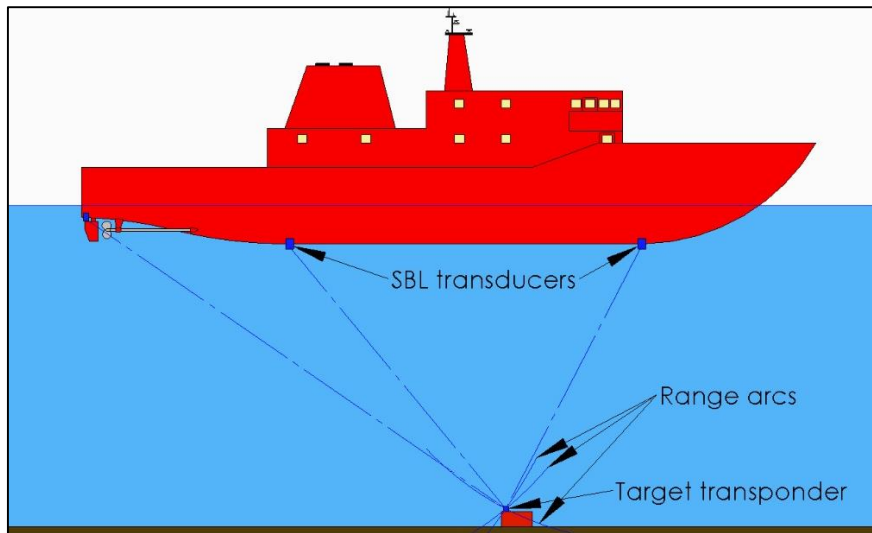


Figura 15: Diagrama SBL amb transponedor fixe a l'ancoratge – font: [www.amloceanographic.com](http://www.amloceanographic.com)

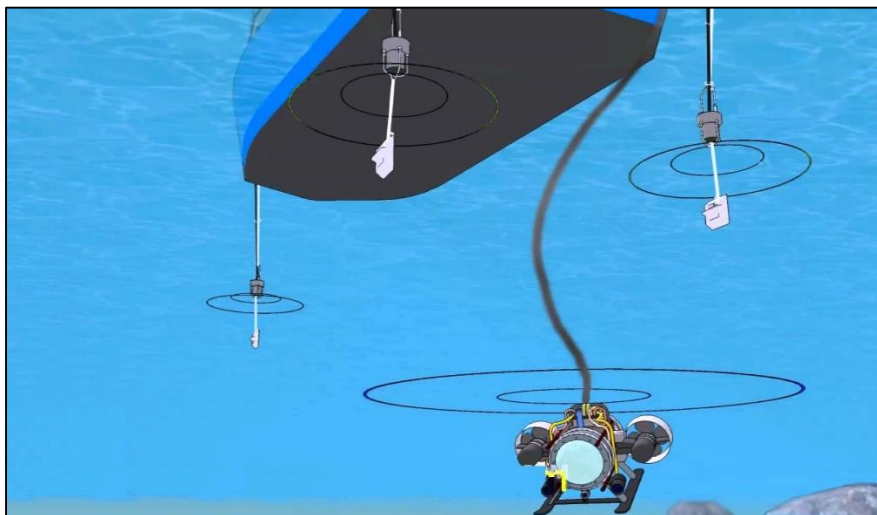


Figura 16: Diagrama SBL amb transponedor mòbil a l'ancoratge – font: [www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org)

Els sistemes SBL no requereixen una lectura de la velocitat del so, sinó que requereixen el coneixement del perfil de la velocitat del so en una columna d'aigua per calcular encara amb més precisió a més de tenir en compte la refracció.

**c. Sistemes de línia de base llarga o LBL (Long Base Line):**

Aquest sistema, es el més sofisticat dels 3, s'utilitza quan les profunditats des de la superfície de l'aigua fins el fons marí són superiors a les que hi podia haver amb els anteriors sistemes mencionats. Els sistemes LBL utilitzen transponedors col·locats entre ells des de 100 metres de distància fins a diversos quilòmetres. A més, a diferència dels anteriors sistemes, aquest treballa amb un transductor al casc i diversos transponedors fixats al fons marí (no són mòbils) i posicionats amb precisió i l'objecte a ser rastrejat està equipat amb un transductor i un processador.

Els transponedors dels sistemes de Línia de Base Llarga poden abastar fins a una superfície d'entre uns 500 i 1000 metres quadrats.

A diferència dels anteriors sistemes hidro-acústics, aquest sistema no necessita corregir errors per balanceig ni per refracció ja que és el que ofereix més precisió de tots i no necessita mesurar-los a partir de la demora. A més a més, es sol treballar amb 5 transponedors formant un pentàgon tot i que com a mínim se n'ha d'utilitzar 3. La senyal emesa per aquests transponedors ens proporciona la situació del vaixell i/o plataforma en referència al conjunt de balises.

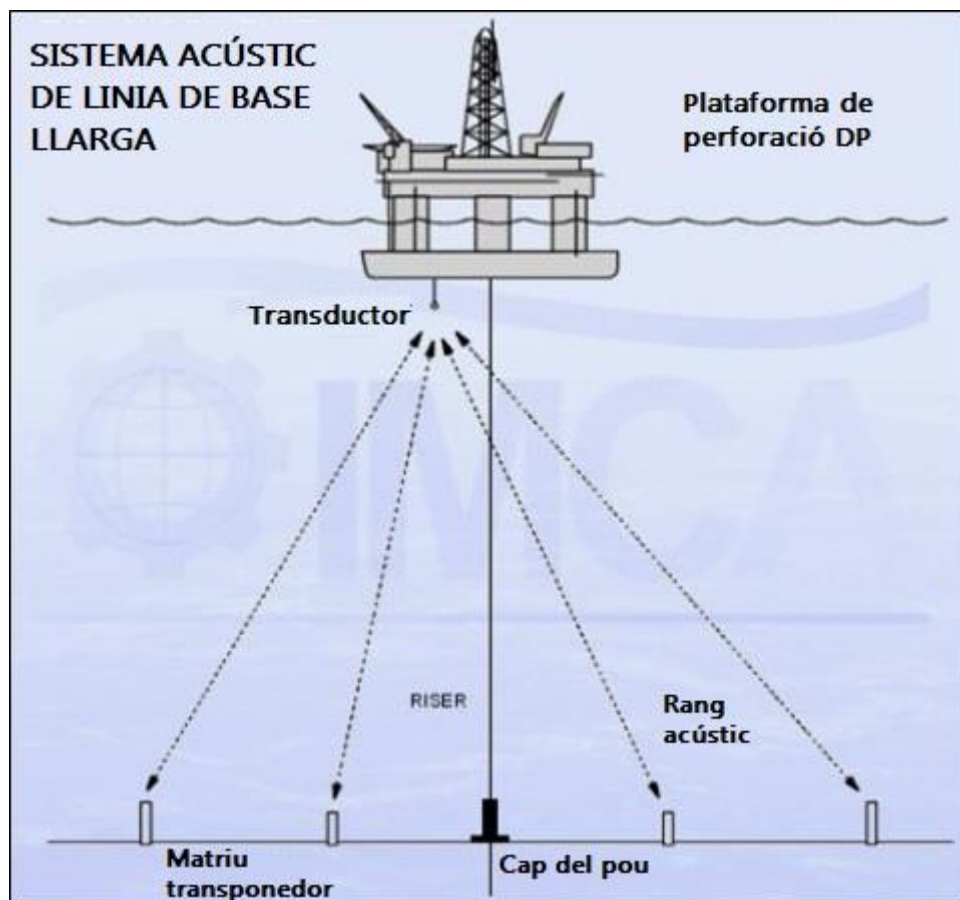


Figura 17: Diagrama LBL de 4 transponedors en una plataforma – font: [www.imca-int.com](http://www.imca-int.com)

La seqüència d'esdeveniments per determinar la ubicació d'un element mitjançant el sistema hidroacústic de tipus LBL consisteix en:

1. L'objectiu a ser posicionat emet un impuls acústic des del seu transductor (*transducer*).
2. El pols viatja a través de l'aigua a cada un dels transponedors (*transponder*) LBL. Aquests, detecten el senyal i cada un d'ells respon amb un pols acústic únic.
3. Els polsos del transponedor tornen al transductor de l'objectiu a través de l'aigua perquè el processador pugui determinar els temps de viatge d'anada i tornada de les ones acústiques a cada un dels transponedors de la matriu LBL o *LBL array transponder*<sup>8</sup>.
4. La velocitat del so a l'aigua és utilitzada per calcular els intervals als transponedors. Si l'objectiu està operant a una profunditat similar als transponedors LBL, la lectura de la velocitat del so en l'objectiu serà suficient. No obstant això, si els polsos acústics estan viatjant tant verticalment com horitzontalment, llavors es requereix la velocitat mitjana del so per el traçat dels raigs per a calcular de manera precisa la distància.

### 5. Filferro Taüt (*taut wire*)

Els cables de Taüt van ser els primers sistemes de referència utilitzats per als sistemes de posicionament dinàmic. En l'Eureka, l'any 1961 i en el Caldrill i Térébel, l'any 1964. La raó per la qual el Cuss1 no es va utilitzar el filferro taüt és perquè tot i considerar-se el primer vaixell posicionat dinàmicament, es va emprar control manual amb l'operador mitjançant l'observació dels sistemes de Radar i Sonar del vaixell. Aquest sistema va resultar ser el principal sistema en els primers vaixells gràcies a que permet mantenir una posició estàtica durant períodes llargs de temps a zones on la profunditat és limitada. Per a altres operacions amb més profunditat, la seva efectivitat no és tan elevada.



Figura 18: Grua Davit o A-frame – font: [www.pinsdaddy.com](http://www.pinsdaddy.com)

<sup>8</sup> Arraytransponder: Transponedors de la matriu del sistema de posicionament de Línia de Base llarga o *Long Base Line*

El sistema de filferro Taüt funciona baixant un pes (pes depressor o *clump weight*) al llarg d'un cable fins al fons del mar utilitzant una petita grua anomenada "davit" o grua "A-frame" situada a babord o estribord del vaixell. Aquest filferro, lligat a la grua, es manté en tensió constant gràcies a un torn que serveix per eliminar de manera efectiva el moviment del vaixell en el sistema. D'aquesta manera, un sensor situat en el penol de la grua, és capaç de mesurar en tot moment l'angle del cable.

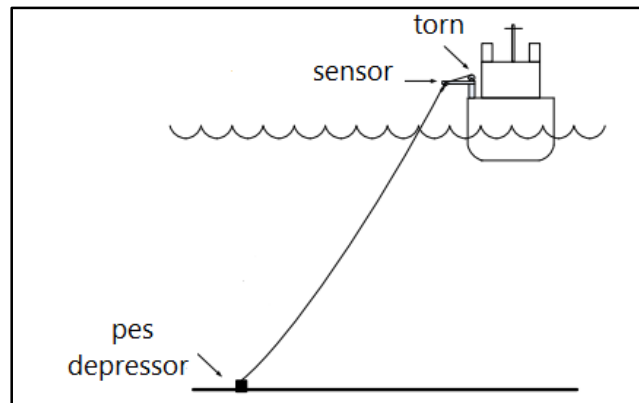


Figura 19: Principi d'operació del sistema de referència filferro Taüt – font: d'autor

La longitud del filferro desplegat mitjançant el torn de la grua, junt amb l'angle del mateix filferro i la distància vertical de la politja de la grua, defineix la posició del cap del sensor amb referència al pes depressor. La distància vertical es coneguda a través de la Sonda del vaixell.

Així doncs, el sistema de Cable Taüt mesura la variació relativa de la posició d'un punt fixe del vaixell (sensor) respecte un punt fixe situat al fons del mar (pes depressor).

Mitjançant la tensió constant del cable i la variació de l'angle del cable, el sistema determina de forma efectiva el desplaçament horitzontal del vaixell respecte el punt fixe del fons marí, podent saber la posició en tot moment.



Figura 20: Sistema de Cable Taüt amb el pes depressor – font: [www.salvamentomaritimo.es](http://www.salvamentomaritimo.es)



## 6. Els sistemes basats en làser

Els sistemes de referència aplicats al posicionament dinàmic basats en tecnologia làser són sistemes que necessiten un punt fix *offshore* per poder-se posicionar, com per exemple una plataforma ancorada al fons del mar. Aquests làsers són capaços de mesurar la posició en la que el vaixell DP es troba a partir de un punt fix de referència, podent aplicar automàticament les correccions pertinents per mantenir el vaixell en la posició desitjada, tenint una precisió molt acurada.

Utilitzant les dades de la localització dels sistemes de làser o microones *RadaScan* o *Cyscan*, el sistema de posicionament dinàmic manté la posició del vaixell de manera automàtica al lloc on s'estiguin realitzant les operacions. El sistema s'utilitza principalment en operacions crítiques de curt abast com podria ser la càrrega de contenidors d'un vaixell de subministrament a una plataforma.

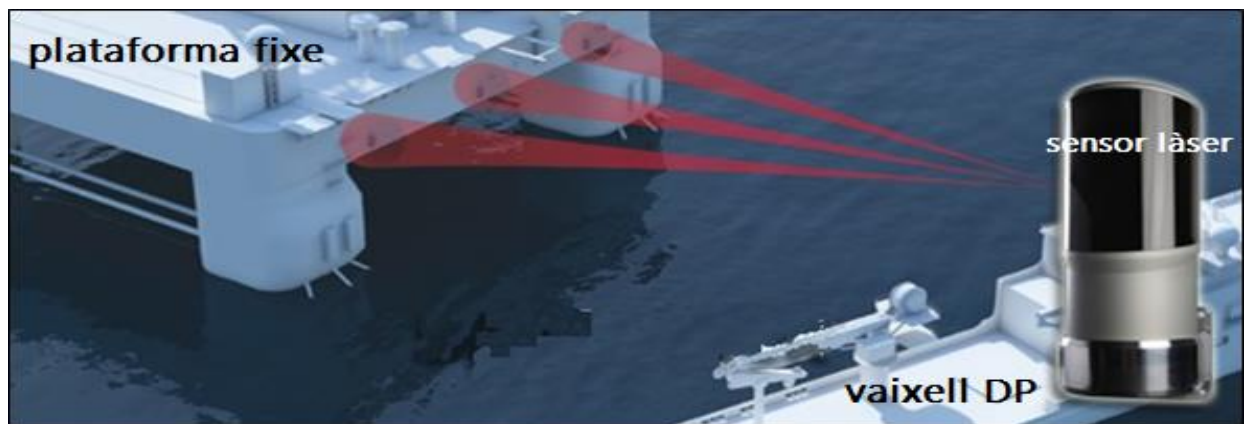


Figura 21: Exemple de com el làser detecta l'estructura fixe que li serveix per posicionar-se dinàmicament

- font: [www.km.kongsberg.com](http://www.km.kongsberg.com)

### a. Artemis

El sistema Artemis, és un sistema de referència amb làser. Normalment, tots els sistemes làser o de microones són per operacions de curt abast, l'Artemis és una excepció i és utilitzat en operacions crítiques de gran rang.

Aquest sistema mesura l'abast i la demora d'un actiu mòbil relativament a una posició fixe com els altres sistemes làser. No obstant, a diferència dels anomenats anteriorment (*Cyscan* i *RadaScan*), l'Artemis és el sensor de referència amb microones més potent del mercat podent tenir un abast que cap altre sistema amb làser té. Mitjançant aquest sistema, la posició és determinada per la distància absoluta i l'angle relatiu entre dues estacions Artemis (estació fixe i estació mòbil).



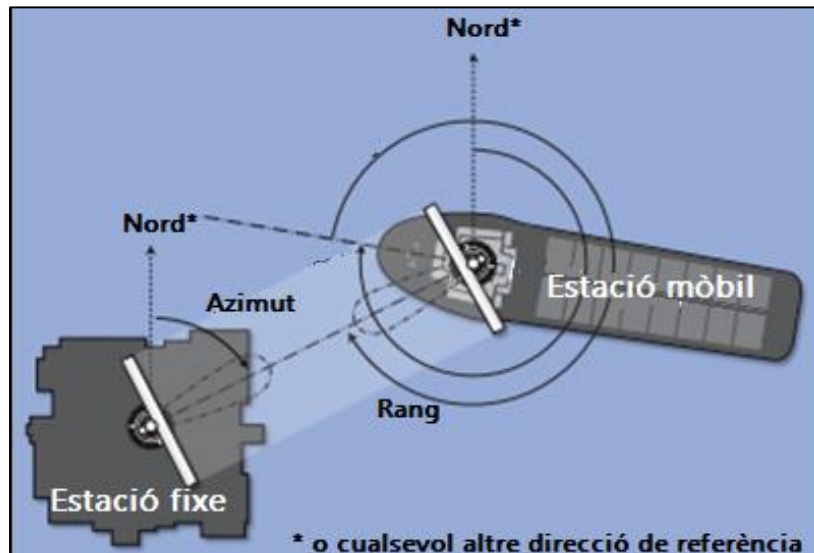


Figura 22: Funcionament del sistema de làser Artemis – font: [www.km.kongsberg.com](http://www.km.kongsberg.com)

Actualment s'està utilitzant principalment en operacions *offshore* de descàrrega i transport de petroli entre vaixells tanc i FPSO (*Floating Production Storage and Offloading*).



Figura 23: Parts que integra el conjunt del sistema Artemis - font: [www.wsenergyservices.com](http://www.wsenergyservices.com)

Llegenda de la Figura 22:

1. Estació fixe: El sensor Artemis és instal·lat en el FPSO.
2. Estació mòbil (posició determinada): El sensor Artemis és instal·lat en el vaixell, com per exemple un vaixell tanc, equipat amb el sistema DP.
3. Pantalla Artemis: És el software utilitzat per l'operador DP per controlar els sensors. S'utilitza en un ordinador instal·lat al pont de comandaments.

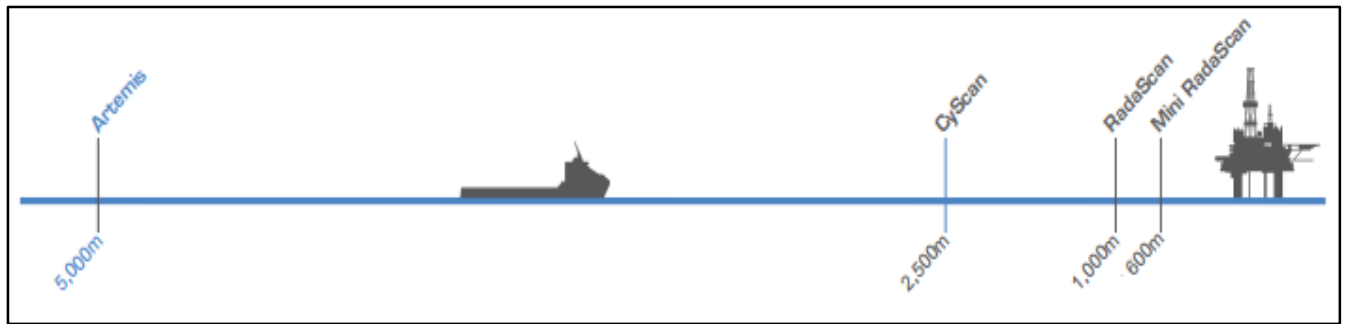


Figura 24: Abast dels diferents sistemes de referència amb làser - font: [www.guidance.eu.com](http://www.guidance.eu.com)

### 2.3.2 Sensors de mesura

En aquest apartat es parlarà dels principals sensors que s'utilitzen a la tecnologia del Posicionament Dinàmic, la seva tipologia i el seu funcionament. Tot i que es coneixen com a sensors, parlarem de transductors per donar-li un concepte més ampli. L'anàlisi d'aquest equip es centrarà en els sensors que envien informació en forma de senyal elèctric al monitor central on un operador pot interpretar els seus valors.

Un sensor és un dispositiu capaç de mesurar magnituds físiques i/o químiques, anomenades variables d'instrumentació, i transformar-les en variables elèctriques. La seva funció principal és proporcionar contínuament informació al sistema informatitzat DP per poder apreciar en tot moment, mitjançant monitors, els valors necessaris per realitzar bé les operacions i maniobres. La informació del sistema informatitzat DP és interpretada per un observador, en aquest cas, un operador DP o un instrument.

Un sistema DP no podria ser tant eficaç sense sensors que mesuressin les condicions externes amb les que estem treballant a temps real. El fet de posar valors a les condicions en les que ens movem, fa més intel·ligible i més precís el resultat que volem aconseguir.

Per calcular la quantitat i la direcció de l'empenyiment necessari per mantenir la posició del vaixell, es necessita informació sobre com es mou i reacciona el vaixell (6 graus de llibertat) afectat per les condicions ambientals com l'estat del mar o el vent. Aquesta informació és recollida pels transductors que s'explicaran a continuació.

#### 1. EL Girocompàs o compàs magnètic

Tot i que el Girocompàs és un equip bàsic i està a bord de qualsevol vaixell, no és menys en un vaixell de posicionament dinàmic. És més, segueix sent igual o més important i essencial.

En un vaixell amb DP, aquest equip acostuma a estar duplicat o inclús pot arribar a estar triplicat depenent el tipus de redundància requerida en una operació.

La funció bàsica d'aquest aparell en un sistema de posicionament dinàmic és la seva utilització, mitjançant la seva lectura, com a sistema de referència per a saber el rumb.

Pel que fa el funcionament, el girocompàs consta d'un eix de gir ràpid, un rotor pesat que gira, una caixa pendular que permet desplaçar el rotor amunt i avall i un timbal exterior que permet a l'eix girar en azimuth. Així doncs, en el girocompàs, es combinen l'acció de dos dispositius: un pèndol i un giroscopi per poder produir la seva alineació amb l'eix de gir de la terra.

Per una correcta senyalització, és necessària informació addicional sobre la latitud en la que estem navegant, de manera que puguem aplicar les correccions necessàries perquè l'agulla s'alineï amb el Nord i així el pugui senyalar. Com a més latitud es navegui, més augmenta l'error degut a la proximitat al Nord magnètic.

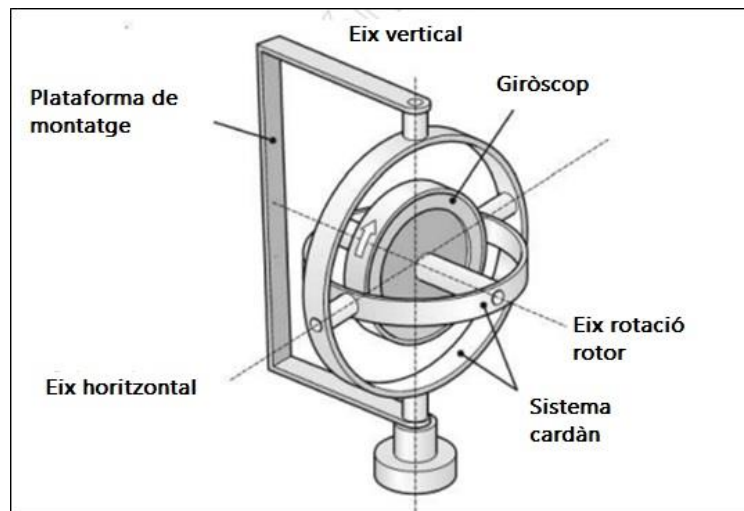


Figura 25: Representació d'un giroscopi elemental - font: [www.ecured.cu](http://www.ecured.cu)

## 2. Sensor de Referencia Vertical o VRS (Vertical Reference Sensor)

El VRS és el sensor que forma part de la unitat de referencia vertical o VRU (*Vertical Reference Unit*).

Hi ha d'haver mínim un sensor de referencia vertical a bord i ha d'estar actiu en tot moment per proporcionar al sistema tota la informació sobre el balanceig i el capcineig del vaixell. Aquesta informació s'utilitza per contrastar totes les mesures rebudes des de la posició de referencia inicial del sistema de capcineig i balanceig, podent-les posteriorment ajustar i corregir.

Així doncs, la Unitat de Referencia Vertical instal·lada a bord d'un vaixell, determina la diferencia entre la vertical local i el pla de referencia del mateix utilitzant les mesures dels sensors dels sistemes de posicionament (sistema de referencia acústica, GPS, DPGS,...). Les dades obtingudes s'utilitzen més per el posicionament que no pas pel propi manteniment del rumb.

Si un VRS està equipat amb un sensor de moviment vertical, la informació del moviment vertical, s'utilitzarà per fins únicament de control. Si la informació del sensor es perdés, el sistema serà incapaç de compensar la posició rebuda amb les mesures del moviment de l'embarcació i llavors la capacitat de posicionament es veurà afectada.

Normalment, tots els sensors de referència vertical d'un vaixell estan disponibles i habilitats per a ser utilitzats. No obstant, el VRU pot definir quina informació es prefereix utilitzar pel sistema.

El sistema rep i compara totes les senyals de tots els VRS però només se n'utilitza una. Si no hi ha errors detectats en les mesures dels sensors de referència vertical, el sistema sempre utilitzarà el sensor predeterminat ja que es poden tant activar com desactivar.

A més a més, els sistemes de posicionament com els acústics o el Cable Taüt, empren els valors de compensació de capcineig i balanceig d'aquests sensors. Potser no són mesures tant indispensables en el posicionament dinàmic en sí, però si en operacions de molta precisió i que requereixen de més redundància com l'aterrada o l'enlairament d'un helicòpter des d'un vaixell.

La precisió de la unitat dels sensors de referència vertical es troba aproximadament en valors del 5% per el moviment vertical amb un rang de  $\pm 10$  metres, mentre que la del moviment de balanceig i capcineig és del 0,1% amb un rang de  $\pm 30$  metres.



Figura 26: Unitat de referència vertical (VRU) – font: [www.cbil.co.uk](http://www.cbil.co.uk)

### 3. Sensors de vent o anemòmetres

Els sensors de vent o anemòmetres, són aquells que mesuren la força i la direcció del vent.

En un vaixell DP, tenint una funció de posicionament, un dels sensors que ha de disposar de més precisió és l'anemòmetre ja que necessitem saber la força i la direcció del vent per poder actuar en conseqüència i ser capaços de combatre'l eficaçment.

Així doncs, els anemòmetres són aparells que mesuren de manera satisfactòria la component horitzontal del vent i es caracteritzen per la seva precisió, la resistència a l'aigua i a la sal del (Fig. 26) mar i a la seva composició formada per materials robustos.

A bord d'un vaixell, com hem vist anteriorment, molts aparells i sistemes es troben duplicats i inclús triplicats. El que es pretén amb això és augmentar l'efectivitat dels valors mesurats. Tenim més

valors amb els que els volem contrastar i podem adonar-nos-en ràpid de si un sensor ha quedat desregulat ja que ho fan amb freqüència.



Figura 27: Anemòmetre comú del fabricant FURUNO – font: [www.nauticexpo.it](http://www.nauticexpo.it)

Per una banda, el sensor de vent que mesura la direcció consta de un sincronitzador format per un rotor i un estator amb una font d'alimentació. La seva precisió és del  $\pm 3\%$ .

Per altre banda, l'anemòmetre que mesura la velocitat, ho fa mitjançant un petit molinet helicoïdal o de copa. Aquest sensor és capaç de mesurar velocitats d'entre 1 m/s i 60 m/s amb una precisió molt acurada:  $\pm 0,3$  m/s.

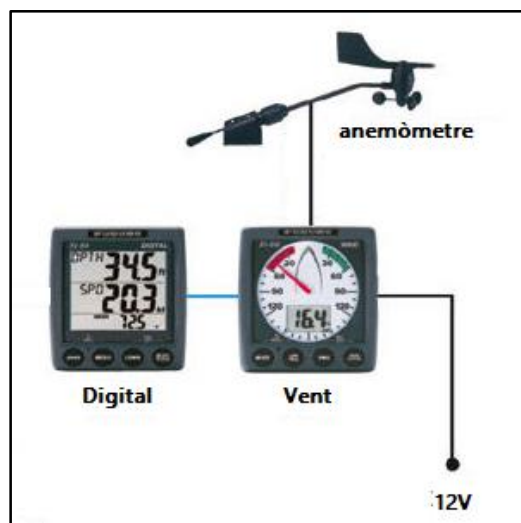


Figura 28: Esquema del sensor de vent juntament amb les pantalles que digitalitzen els valors de força i direcció – font: d'autor

#### 4. Unitat de mesura inercial o IMU (*Inertial Measurement Unit*)

La Unitat de Mesura Inercial o IMU (*Inertial Measurement Unit*, en anglès), és la component principal dels sistemes de navegació inercial. És un dispositiu electrònic que mesura i informa sobre

la velocitat, l'orientació, la localització i les forces gravitacionals d'un vaixell, mitjançant la utilització d'una combinació d'acceleròmetres i giroscopis.

El funcionament de la Unitat de mesura inercial es basa en la detecció actual de la taxa d'acceleració utilitzant un o més acceleròmetres, i detecta els canvis en dades rotacionals com ara el capcineig, el guerxament i la guinyada usant un o més giroscopis.

En un sistema de navegació, les dades informades per la IMU són alimentades en un ordinador que calcula la posició del vaixell actual basant-se en la velocitat, les adreces viatjades i el temps. Durant una travessa, les dades recollides pels sensors d'una IMU permeten a un ordinador seguir la posició de l'aparell, usant un mètode conegut com a navegació per estima.

Per exemple, si la IMU d'un vaixell informés que va viatjar cap a l'Oest durant una hora a una velocitat mitjana de 30 km/h, l'ordinador podria deduir que el vaixell hauria d'estar a 30 km a l'Oest de la seva posició inicial. Si estigués combinada amb un sistema de mapes computat, el sistema de guia podria utilitzar aquesta informació per indicar a l'operador on està localitzat geogràficament. De propòsit similar al sistema de navegació mitjançant el GPS però sense la necessitat de comunicar-se amb components externs com satèl·lits. Aquest mètode de navegació és el citat anteriorment conegut com a navegació per estima.

Un dels principals i més importants desavantatges de la IMU per a la navegació és que les dades analitzades es veuen afectades per un error acumulatiu. Com que el sistema de guia està contínuament afegint els canvis detectats a les posicions prèviament calculades, qualsevol error en el mesurament, no importa el petit que sigui, es va acumulant punt a punt. Això desemboca a una 'deriva', una diferència que augmenta sempre entre on el sistema pensa que es troba localitzat i la posició real.

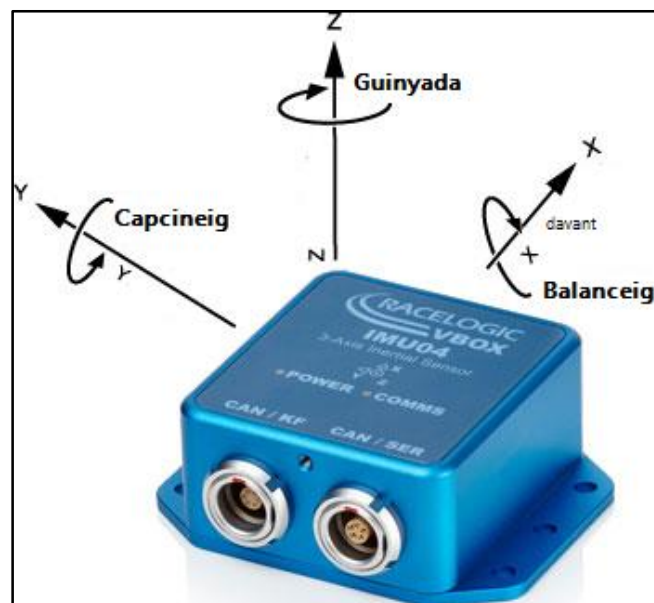


Figura 29: Unitat de Mesura Inercial IMU - font: [www.vboxautomotive.co.uk](http://www.vboxautomotive.co.uk)



## 5. Sensors ambientals

Els sensors ambientals, són aquells que engloben els sensors de vent, de corrent o d'onatge. Són sensors que no són obligatoris com la majoria de la resta però tot i així són igualment importants. Acostumen a portar-los vaixells-plataforma i plataformes *offshore* amb sistemes DP3, els vaixells amb els sistemes DP més sofisticats.



Figura 30: Sensor de vent i sensors meteorològics d'un vaixell – font: [www.oceanservice.noaa.gov](http://www.oceanservice.noaa.gov)

## 6. “Corredera Doppler”

L'anomenada Corredera Doppler és també un equip que permet calcular el moviment del vaixell a partir del mesurament de la velocitat, tant transversal com longitudinal. Aquest aparell realitza els controls mitjançant sensors ubicats tan a proa com a popa del vaixell i l'eco del so, permetent-los extreure informació de la velocitat i la posició a partir de l'efecte Doppler, d'aquí el seu nom.

L'efecte Doppler es tracta d'un augment o una disminució de la freqüència amb la que es produeix una ona sonora, quan l'emissor que la genera i el receptor que la capta, s'allunyen o s'apropen un de l'altre, respectivament.



Figura 31: Corredera doppler i el monitor corresponent situat en el pont de comandament -  
- font: [www.aagehempel.com](http://www.aagehempel.com)

La informació obtinguda per la Corredera, al estar combinats amb dades inercials, realitzen la mateixa funció que les dades aportades per un GPS o pel sistema acústics (vists anteriorment), però pel contrari, afectant únicament a la velocitat. Cal dir, que tot i ser un equip de posicionament i s'utilitzi amb operacions DP, no acostuma a ser molt corrent.

### 2.3.3 Equips propulsors i de govern

La raó per a qual aquest equip està inclòs a l'apartat "Components de la tecnologia DP" és perquè considerem el sistema de posicionament dinàmic com un sistema totalment integrat en el vaixell.

En el passat, la majoria de vaixells DP tenien que ser construïts amb hèlices i propulsors de pas variable. Això era degut a que moltes hèlix i propulsors eren accionats mitjançant un motor elèctric.

Actualment, com que la majoria dels vaixells DP estan construïts amb una configuració dièsel-elèctrica no és necessari una hèlix de pas variable com en el passat, sinó que poden instal·lar-se hèlix de pas fixe conjuntament amb motors elèctrics de velocitat variable. Aquest tipus de instal·lació per exemple, permet regular la velocitat i la direcció del sentit de gir de l'eix, obviant la necessitat d'una hèlix de pas controlable.

La mida dels propulsors depèn directament de la mida del vaixell, tant en la seva obra viva com en la seva obra morta, i en les condicions meteorològiques en les que operen. Les condicions meteorològiques que afecten en la mida d'un propulsor DP són:

- Velocitat i direcció del vent
- Altura de les onades, període i direcció
- Intensitat i direcció horària de la corrent

El món dels propulsors és un sector en el que hi ha grans millores i a més s'avança ràpidament. És un camp molt ampli en el que hi ha molta investigació i avanç tecnològic i tots amb el mateix objectiu; eficiència energètica, optimització de recursos i velocitat en maniobra. És per això que contínuament s'estan desenvolupant noves idees, inclús millorant aspectes existents del sistema i incorporant nous conceptes innovadors que el fan cada cop més, més necessari.

El que si hauria de quedar clar és la seva importància i que tot vaixell equipat amb tecnologia DP, hauria d'incorporar la capacitat adequada de propulsió i maniobra per controlar els principals moviments del vaixell en el pla horitzontal; la guinyada, l'avanç/retrocés i el desplaçament lateral.

A bord d'un vaixell, es requereixen al menys 3 propulsors per poder parlar d'una correcta propulsió per a un sistema de posicionament dinàmic. A aquests 3 propulsors obligatoris, és necessari incloure'ls-hi d'addicionals per complir amb els diferents nivells de necessitat i els seus requisits de redundància depenent de l'operació; DP1, DP2, DP3.



Per norma general, els propulsors més utilitzats equipats en vaixells amb sistema DP són la Hèlix (timó convencional), els propulsors de túnel i els propulsors azimuthals (360°). També, hi ha certs vaixells amb tecnologia DP que poden muntar sistemes de propulsió *Voith Schneider*<sup>9</sup> o fins i tot, *waterjets*<sup>10</sup>. Així doncs, els propulsors es poden dividir en:

## 1. Hèlix

Les hèlix són el mètode convencional de propulsió d'un vaixell. Les hèlix poden ser úniques o de configuració bessona. El control de propulsió es pot dividir en tres grans grups.

### a. Hèlix de pas fix o FPP (*Fixed Pitch Propeller*)

La força de propulsió mitjançant l'hèlix de pas fixe es controla variant la velocitat de rotació de la mateixa hèlix.

### b. Hèlix de pas variable o CPP (*Controllable Pitch Propeller*)

A diferència de l'hèlix FPP, la força de propulsió es controla variant el pas del propulsor i mantenint constant la velocitat de rotació.

Tot i així, existeixen variants d'hèlix CPP. Una variació de les CPP són les que ofereixen una combinació de les dues, es a dir, variant tant el pas com la velocitat angular (*RPM*), utilitzant un variador de velocitat per obtenir una eficiència i maniobrabilitat majors, ja que els propulsors dotats de molta potència generen potents reaccions, inclús amb poc pas.

### c. Timons

El timó és un dispositiu utilitzat per a maniobrar una embarcació o vaixell a través d'un fluid. Funciona orientant el fluid a la direcció contrària a la qual es vol anar produint-se un efecte de gir i/o d'empenyiment.

Els timons generen forces transversals de propulsió en combinació amb la hèlix, són propulsors laterals ineficients. Per ser efectius a baixes velocitats, els timons hauran de situar-se dins l'estela de l'hèlix. Un timó central equipat en un vaixell amb hèlix bessones, té molt poca utilitat en un vaixell amb sistema de posicionament dinàmic, ja que les forces de propulsió generades són relativament baixes.

---

<sup>9</sup> VoithSchneider: tipus de propulsió

<sup>10</sup> Waterjets: Propulsió mitjançant jets o xorros d'aigua

## 2. Propulsors de túnel – hèlix laterals

Els propulsors de túnel es munten a la proa i/o a la popa del vaixell i permeten al vaixell tant que es desplaci lateralment com que generi un moment de gir. A més a més, les hèlix laterals utilitzen tant hèlix de pas fix com de pas variable.

Aquest tipus d'hèlix son efectives únicament a velocitats baixes, fins a un màxim de 2-3 nusos (*knots*).

Com major sigui la longitud del túnel, menor serà l'eficiència del propulsor. Els propulsors poden situar-se en la proa i en la popa, ja sigui de manera unitària o en grups. Per una eficàcia més gran haurien d'estar situats al màxim per sota possible de la línia d'aigua. Està demostrat científicament que la màxima eficiència s'aconsegueix situant 1,5 vegades el diàmetre de l'hèlix transversal per sota de la línia de l'aigua.

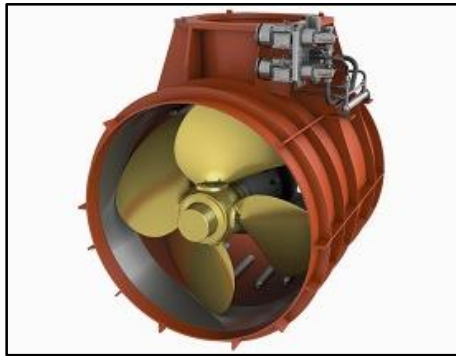


Figura 32: Exemple d'hèlix transversal (WTT – 40) – font: [www.tecnologia-maritima.blogspot.com.es](http://www.tecnologia-maritima.blogspot.com.es)

## 3. Propulsors azimuthals

Els propulsors azimuthals són propulsors capaços de rotar les seves hèlix fins a 360 graus. Així doncs, son propulsors que es caracteritzen tant per poder rotar com controlar la magnitud i la direcció de la seva propulsió. A continuació comentarem els diversos tipus d'hèlix azimuthals.



Figura 33: Propulsors azimuthals de doble hèlix Siemens-Schottel<sup>11</sup> – font: [www.incrediblenews24.com](http://www.incrediblenews24.com)

<sup>11</sup> Schottel: tipus de propulsor

#### a. Propulsors azimuthals de contra-rotació

A trets generals, els beneficis d'aquest primer tipus de propulsor azimuthal són:

- Una millor propulsió, eficiència i eficàcia.
- Una millora en el consum de combustible, i per tant, una major economia del combustible i una major autonomia.
- Una millora en la precisió del rumb.
- Una reducció del soroll i de les vibracions

El propulsor azimuthal de rotació contrària, com diu el seu nom, combina els avantatges de l'estructura d'hèlix de contra-rotació amb la flexibilitat del propulsor azimuthal.

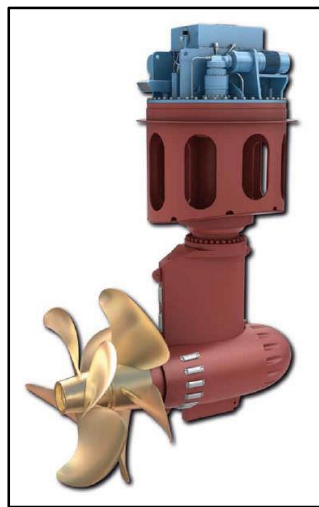


Figura 34: Propulsor azimuthal de contra-rotació – font: [www.schottel.de](http://www.schottel.de)

#### b. Propulsors azimuthals tipus “pulling” (Azipull)

El propulsor azimuthal pulling, també conegut com “Azipull<sup>12</sup>” (*Azimuth-Pulling*), és un propulsor d'arrossegament de baixa resistència i d'alta eficiència que proporciona tant la direcció com la propulsió.

L'Azipull combina els avantatges de l'hèlix *pulling* amb la flexibilitat d'adaptabilitat per a qualsevol vaixell (es pot connectar a qualsevol tipus de motor principal, acceptant turbina de gas o gas amb accionament mecànic o elèctric). Són propulsors dissenyats per mantenir la velocitat del vaixell constant durant el període de servei, mantenint en tot moment una alta maniobrabilitat (fins a 24 nusos).

També, ofereixen una alta eficiència hidrodinàmica i de combustible amb baix nivell de soroll i vibració. A més a més, les unitats azimuthals/*pulling* també permeten optimitzar el casc del final de la popa per tenir una resistència mínima i una construcció simplificada.

<sup>12</sup> Azipull: Abreviatura del tipus de propulsor Azimuth-pulling



Figura 35: Propulsor azimuthal/pulling – font: [www.engerencia.com.ve](http://www.engerencia.com.ve)

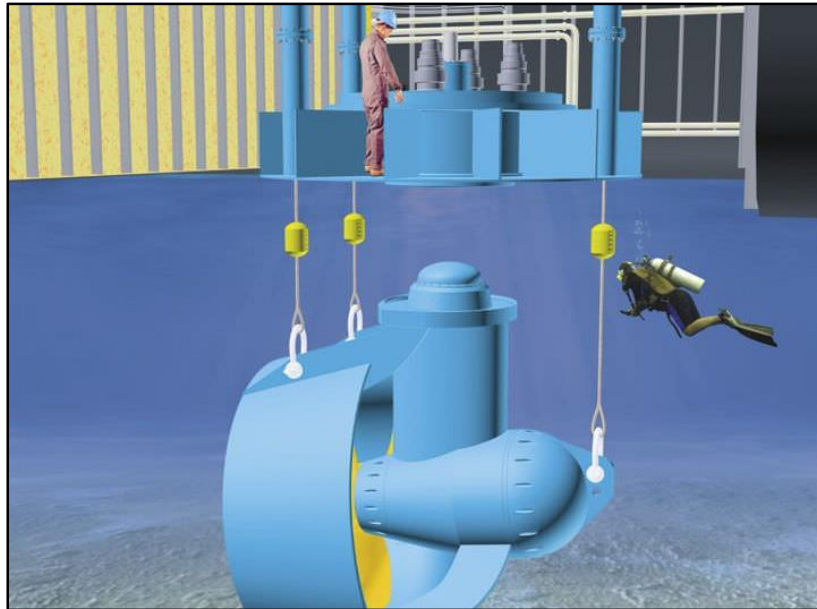
**c. Propulsor azimuthal desmuntable**

Les hèlix azimuthals desmuntables són hèlix dissenyades exclusivament per un fàcil muntatge i desmuntatge sota l'aigua sense necessitat de carenar la unitat. Aquesta característica és la que el fa únic i és la de més importància quan parlem de grans vaixells i plataformes de extracció semi-submergides o unitats de perforació/perforadores.



Figura 36: Propulsor azimuthal desmuntable - font: [www.engerencia.com.ve](http://www.engerencia.com.ve)

El procés de muntatge i desmuntatge d'aquest propulsor azimuthal es realitza fàcilment i de manera segura. Gràcies a que incorpora un sistema especialment dissenyat d'hissat i un sistema de segellat i fixació únic, incorporat al llarg de la columna del propulsor, el procediment és de fàcil realització i totalment estable i ferm.



**Figura 37: Sistema d'hissat d'un propulsor azimuthal desmuntable per un fàcil muntatge i desmuntatge -**  
- font: [www.ingenieromarino.com](http://www.ingenieromarino.com)

#### **d. Propulsor azimuthal retràtil**

Aquest tipus de propulsor azimuthal utilitza components de l'accelerador azimuthal estàndard. El que fa que sigui peculiar és que pot proporcionar tant una ràpida elevació com un ràpid descens hidràulic de la unitat per reduir l'arrossegament del vaixell quan no és necessari. Així doncs, el propulsor queda resguardat en un receptacle situat en el casc del vaixell

L'aixecament i la baixada de la unitat retràtil s'activen mitjançant un polsador en el pont de comandament. El bloqueig i el desbloqueig a la posició i la interacció de l'acoblament de l'eix de transmissió són totalment automàtics. A més a més, són propulsors que estan dissenyats per construir-se tant vertical com horitzontalment i tots dos estan disponibles tant amb hèlixs de pas fix com de pas variable (*CPP i FPP*).

Durant l'operació, funciona com un propulsor azimuthal normal i desenvolupa el màxim de "*Bollard Pull*<sup>13</sup>" durant les situacions de maniobra garantint també una reserva de potencia en el manteniment de la posició. Un altre benefici que proporciona aquest propulsor és el de seguretat addicional. Mentre el propulsor es mantingui allotjat dins del seu receptacle, no sobresortirà de la línia base/quilla, un aspecte a tenir en compte quan es fan operacions en aigües més someres.

<sup>13</sup> Bollard Pull: És el terme que s'utilitza per descriure la capacitat d'arrossegament d'un vaixell de remolc

Adicionalment, els propulsors azimuthals retràctils estan freqüentment localitzats en la posició més baixa possible dins del casc degut a les restriccions de funcionament més estrictes, especialment per els equips muntats en la proa, que han de recollir-se freqüentment en el casc quan no està en ús.

Les característiques clau són:

- Millora de la maniobra
- Una direcció combinada i una empenta d'hèlix a baixa velocitat
- Un disseny compacte i de fàcil d'instal·lació.

Components majoritaris del propulsor:

- Propulsor amb hèlix de pas fixe o variable
- Servomotor amb corona dentada
- Sistema hidràulic
- Sistema de control remot
- Propulsor del sistema



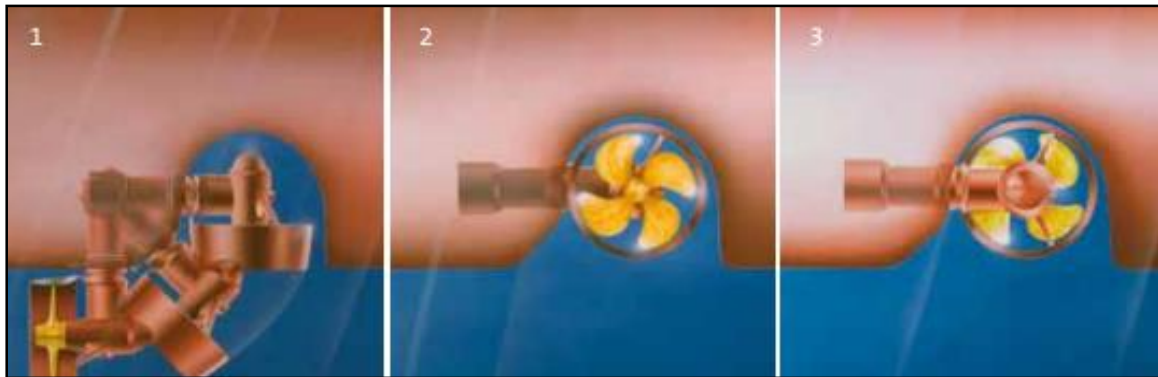
Figura 38: Propulsor azimuthal retràctil Rolls-Royce – font: [www.nauticexpo.es](http://www.nauticexpo.es)

#### e. Propulsor azimuthal combinat / lateral

Les hèlix azimuthals combinades queden col·locades en el casc del vaixell rotant completament la unitat 90° sobre l'eix horitzontal. En la posició contreta, el propulsor pot operar com una hèlix lateral. El que permet això, és una frontissa a la part superior del propulsor, permetent-li plegar-se o desplegar-se formant un arc fins la posició azimuthal, o contreta en un espai on es manté horitzontal al casc.

Són propulsors dissenyats per treballar amb hèlix encapsulades estiguin contretes o desplegades, implicant una reducció del soroll i una major propulsió si ho comparem amb la hèlix transversal convencional.

És un propulsor equivalent a una hèlix azimuthal retràctil instal·lada en un casc especialment i específicament dissenyat. A part, la velocitat de resposta en termes de canvi de direcció és similar als propulsors convencionals. La unitat de direcció pot girar fins a 180º en 10 segons. Es controla amb sistema de control remot.



**Figura 39: Diferents posicions que el propulsor azimuthal combinat/lateral és capaç d'adoptar -**  
- font: [www.wikipedia.es](http://www.wikipedia.es)

Llegenda de la Figura 38. Diferents posicions que el propulsor azimuthal combinat/lateral adopta:

1. Quan el propulsor està desplegat, funciona com un propulsor azimuthal.
- 2-3. Quan el propulsor està contret dins el receptacle, actua com un propulsor de túnel/lateral d'alta eficiència.

#### **f. Propulsor azimuthal telescòpic**

El propulsor azimuthal telescòpic té els mateixos components principals que les altres hèlix de propulsió azimuthal. La única diferència és que té dos cilindres telescòpics que li permeten tenir encara més opcions a l'hora de navegar. Té una velocitat ràpida tant de recollida com de desplegada i una extensió variable més gran en comparació a les altres hèlix.

És molt semblant al propulsor azimuthal retràctil, tot i que a diferència d'ell, no queda guardat ni amagat quan l'extensió del telescopi es mínima.



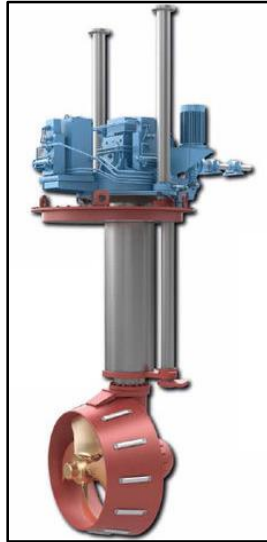


Figura 40: Propulsor azimuthal telescòpic de Rolls-Royce – font: [www.engerencia.com.ve](http://www.engerencia.com.ve)

#### g. Propulsors *White Gill*

Aquest dispositiu de propulsió s'utilitza per a maniobrar embarcacions més petites que no vaixells mercants: remolcadors i embarcacions que requereixen de molta mobilitat.

Les hèlix cicloïdals consisteixen en quatre o més seccions horitzontals rotatòries d'*aerofoils*<sup>14</sup> els quals poden ser controlats per un centre de rotació per generar un empenyiment direccional. D'aquesta manera, podem aconseguir una propulsió controlada en la direcció desitjada.

Tot i així, aquest sistema de propulsió no s'acostuma a utilitzar ja que els valors d'empenta específics són aproximadament la meitat del valor que es pot aconseguir amb un dispositiu d'hèlix. Això és degut a que el pas d'aigua a través del Gill crea pèrdues de fricció a la unitat reduint l'efectivitat del dispositiu.

Pel contrari, la seva instal·lació és molt simple i en alguns casos aquesta hèlix és la única que encaixa en condicions limitades o més restringides. S'instal·len en el fons del casc i pel consegüent estan lligades a danys en aigües someres.

Està disponible només en mides de fins a 1000 CV a diferència de les altres, ja que no és tan utilitzada en embarcacions de grans dimensions com s'ha citat anteriorment.

<sup>14</sup> Aerofoils: Estructures amb superfícies corbes dissenyades per proporcionar elevació a altes velocitats. Utilitzades en els propulsors White Gill



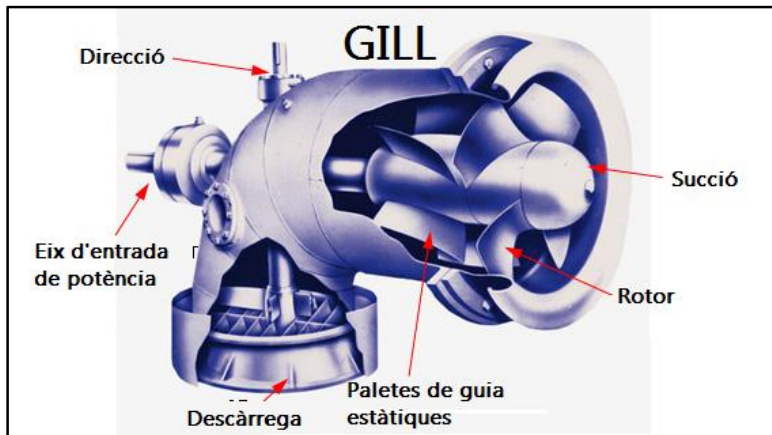


Figura 41: Representació d'un propulsor White Gill – font: [www.nauticexpo.es](http://www.nauticexpo.es)



Figura 42: Propulsor White Gill – font: [www.riull.ull.es](http://www.riull.ull.es)

### 2.3.4 El model matemàtic del vaixell

Els sistemes de control actuals del sistema DP, utilitzen controladors basats en models matemàtics. Un model matemàtic és un del tipus de models científics que utilitza un formulisme matemàtic per tal d'expressar relacions, variables, paràmetres, entitats i relacions entre les variables de les operacions, per estudiar el comportament de sistemes complexes, com és el de posicionament dinàmic, davant de situacions difícils d'observar en la vida real. Els models matemàtics descriuen el comportament de la hidrodinàmica, del control de forces i moments que actuen sobre el vaixell, del medi i dels balanços.

Per a fer-se una idea del model matemàtic d'un vaixell amb sistema de Posicionament Dinàmic, cal saber els paràmetres i variables que es tindran en compte i les equacions que s'hi inclouran. Així doncs, el model matemàtic es podria dividir en: **Les equacions dinàmiques del moviment del propi vaixell i les variables o pertorbacions ambientals incloses en el model matemàtic.**

1. L'estudi de les equacions dinàmiques del moviment d'un sistema mecànic (vaixell) es pot dividir en dos parts:
  - a. **Les equacions cinemàtiques del moviment:** Aquestes equacions estan basades en els sis graus de llibertat del vaixell. Pel que fa en el Posicionament Dinàmic però,

només és té en compte el moviment en el pla horitzontal (ja que dona la posició  $(x,y)$  i el rumb). En els vaixells convencionals, es suposa adequadament quan es diu que el capcineig i els moviments de balanç són oscil·latoris amb una mitja de zero i una amplitud limitada. A més, a part, existeixen moments en el que aquests moviments es veuen restaurats i es compensen. És per això que en DP, també es suposa bé quan no s'utilitzen els moviments de capcineig i balanç i només s'empra la variable de guinyada per a descriure l'equació de cinemàtica del moviment.

- b. **Les equacions cinètiques del moviment:** Aquestes equacions del moviment, encara que siguin molt generalitzables, són les mateixes que s'utilitzen per a sistemes de referència inercial. D'aquesta manera, les equacions es redueixen a les lleis de moviment de Newton en format vectorial.
2. Les pertorbacions ambientals incorporades al model matemàtic en la dinàmica dels vaixells:
- a. **Pertorbacions additives:** són totes les pertorbacions que actuen de forma additiva al vaixell degut al fenomen del vent, de les onades, de les corrents, etc.
  - b. **Pertorbacions multiplicatives:** són totes les pertorbacions degudes a les condicions de càrrega, sonda regnant, els canvis de velocitat, etc.
  - c. **Pertorbacions de mesura:** són totes les pertorbacions degudes al errors per mal funcionament dels equips de mesura; com per exemple podria ser, el GPS Diferencial i/o sensors de mesura vists anteriorment.

### 2.3.5 Sistemes de generació, proveïment i gestió de l'energia i les seves parts

Els sistemes, fonts i instal·lacions d'un vaixell no es diferencien tant dels que pot posseir una casa o un cotxe, tenint similituds molt pròximes en tot el referent a l'aparellatge, distribució i instal·lació. Alguna de les diferències pot residir en els diferents tipus de corrents amb els que es treballa, i sobretot en vaixells grans.

Així doncs, els sistemes de generació, de distribució i de gestió de l'energia, composts per varis equips, són els tres sistemes responsables de generar, distribuir i gestionar energia als diferents equips, com per exemple, als propulsors del vaixell per a mantenir el vaixell estàtic i contrarestar les forces externes.

#### 2.3.5.1 Sistemes de generació, proveïment i gestió de l'energia elèctrica al vaixell

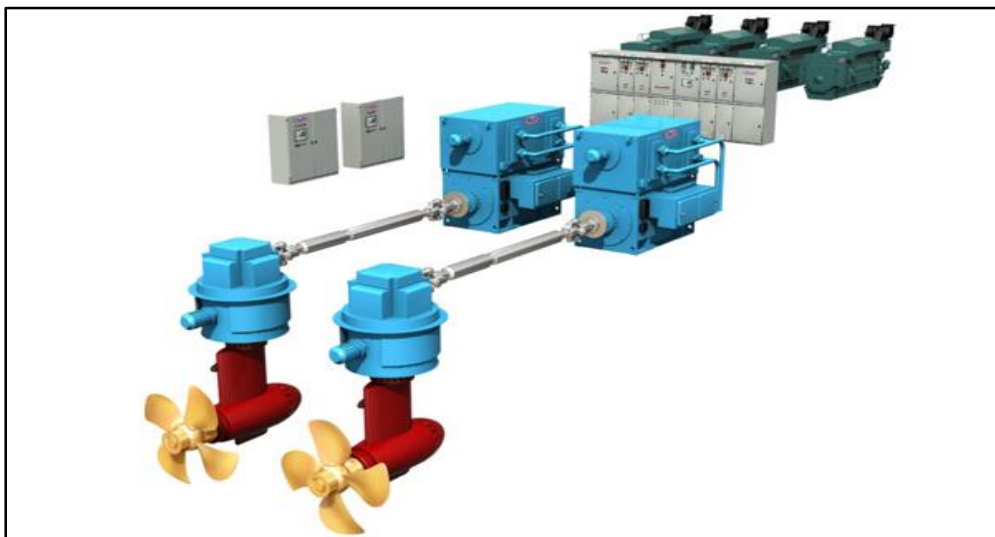
- **Planta elèctrica**

La planta elèctrica dels vaixells DP és completament dependent de l'energia elèctrica tant per a la propulsió com per als elements electrònics que formen part del sistema DP. A més, disposen de

motors auxiliars tant per a la generació d'energia pels aparells necessaris del pont com per a la propulsió en cas d'emergència.

És de vital importància que els Operadors de Posicionament Dinàmic o *DPO (Dynamic Positioning Operator)*, encarregats de dur a terme les guàrdies DP, estiguin completament familiaritzats amb el sistema de proveïment d'energia elèctrica a bord. La raó és senzilla; quan un vaixell es troba operant en DP, els problemes es presenten d'una manera instantània i per tant necessiten d'una immediata capacitat de decisió per a solucionar-los de forma eficient i de manera eficaç. Així doncs, en una situació crítica amb molta tensió, el coneixement amb la planta elèctrica del vaixell és de vital importància per a efectuar una presa de decisions correcta.

Si classifiquéssim els vaixells DP parlant des del punt de vista energètic, els vaixells DP es divideixen en dos grups: els dièsel-elèctrics i els dièsel no-elèctrics. Dins dels dièsel no-elèctrics, s'engloben també els híbrids, és a dir aquells en què les hèlixs principals estan directament impulsades per motors dièsel, mentre que els propulsors auxiliars són alimentats elèctricament. Per la seva banda, poden trobar-se també vaixells en els quals tota la propulsió és duta a terme per motors dièsel i en els quals cada unitat propulsora està alimentada pel seu propi motor dièsel.



**Figura 43: Esquema dels motors, generadors, panells principals i propulsors – font: [www.marineinsight.com](http://www.marineinsight.com)**

- **Sistema de generació d'energia dièsel-elèctrica**

Actualment i amb una gran diferència, la majoria dels vaixells equipats amb DP, estan propulsats mitjançant plantes dièsel-elèctriques. En un vaixell d'aquesta classe, l'energia elèctrica es subministra de forma centralitzada i es distribueix a tots als aparells consumidors de diferents voltatges. Cal remarcar que tots els consumidors a bord del vaixell són alimentats elèctricament.

La generació de l'energia dièsel-elèctrica és produïda per un número de "generadors primaris", normalment motors dièsel semi lents<sup>15</sup>, acoblats a alternadors que són els que generen l'energia elèctrica a alt voltatge.

La tensió típica a la sortida de l'alternador oscil·la entre els 3000 V (3 kV) i els d'11000 V (11 kV), encara que les configuracions més utilitzades en vaixells DP són de 3300 V (3.3 kV), 6000 V (6 kV) i 6600 V (6.6 kV). En instal·lacions amb grans consums d'energia es prefereixen voltatges més alts mentre que la intensitat es manté a baix nivell. Aquesta configuració presenta una major eficiència ja que es produeixen menys pèrdues a llarg de la línia.

El corrent generat a alt voltatge es transmet a un panell d'alt voltatge, que es divideix en diverses seccions depenent dels nivells de redundància exigits per a la classe d'operació en la qual el vaixell estigui involucrat. Des d'aquests panells d'alta tensió, es distribueix l'energia directament als motors que alimenten els propulsors. Gairebé tots els vaixells moderns equipats amb DP utilitzen corrent altern (hi ha vaixells DP que encara són propulsats amb corrent continu).

Per comprendre el funcionament de la planta elèctrica del vaixells és essencial que el DPO també es familiaritzi amb el diagrama de distribució de potència del seu vaixell, també anomenat "diagrama d'una línia". En aquest diagrama, s'il·lustra la connexió i la relació entre els generadors, els quadres d'alta tensió i les unitats propulsors. Un estudi detallat d'aquest diagrama indica també les possibilitats de fallada del sistema, així com la generació de la "pitjor situació possible" i les seves conseqüències.

Una característica molt important d'una planta dièsel-elèctrica, és el valor instantani de capacitat de subministrament, conegut també per "valor de reserva". Els generats normalment no es troben treballant a plena càrrega, sinó que la potència subministrada va en funció de la demanda instantània del sistema. Per tant, el valor de reserva queda definit com la diferència entre el consum instantani i la potència màxima disponible dels generadors. Una indicació d'aquest nivell de reserva és una dada habitualment subministrada pel sistema que pot ser fàcilment monitoritzada per l'operador, el qual si ho creu convenient, depenent de les demandes energètiques del sistema pot arrancar o aturar generadors per a l'optimització de recursos (tenint sempre en compte no quedar fora de classe, depenent de l'operació que s'estigui duent a terme).

#### ▪ Sistema de subministrament d'energia elèctrica a baix voltatge

En un vaixell els propulsors estan alimentats a alta tensió, per aconseguir el subministrament elèctric a més baix voltatge es fa mitjançant la instal·lació de transformadors intermedis.

El panell principal pot subministrar energia a la majoria de funcions del vaixell a 660V o 440V mentre que els ítems pesats com ara grues, poden acoblar directament al panell d'alta tensió.

Els ítems instal·lats a la intempèrie i subjectes a una possible via d'aigua deuen ser alimentats individualment per transformadors dedicats per així evitar possibles propagacions de problemes

---

<sup>15</sup> Motors dièsel semi-lents: Motors que presenten velocitats de gir de com a molt unes 400 rpm.

per tota la xarxa. Poden al seu torn existir panells separats que poden alimentar equipament delicat com pot ser l'equip de busseig. En aquest cas el quadre és dividit i completament redundant. Per la seva banda el proveïment a serveis generals a 220 V és obtingut novament a través d'un transformador acoblat al quadre principal que converteix de 440 a 220V.

- **Sistema híbrid**

Si el vaixell és propulsat per una combinació de motors dièsel (hèlixs principals) i propulsors elèctrics, es coneix amb el nom de propulsió "híbrida". Una configuració molt comú és la formada per un motor dièsel a revolucions constants connectat a una hèlix propulsora principal de pas variable on el subministrament elèctric és aconseguit a acoblar un alternador de cua a la sortida de l'eix de motor dièsel. Els propulsors auxiliars com ara hèlixs de proa i popa transversals, són elèctricament alimentades. Normalment, aquesta configuració es troba en vaixells convertits a DP i no dissenyats en origen per a la instal·lació del sistema, als quals durant el procés de reconversió se li va afegir poder propulsiu i major generació elèctrica.

No obstant això, es poden trobar gran quantitat de vaixells DP originalment dissenyats així, doncs aquesta configuració permet una major flexibilitat i viabilitat econòmica en diferents modes d'operació.

Recentment, és habitual també la implantació d'un sistema híbrid de doble hèlix alimentades doblement, o bé elèctricament o bé per un motor dièsel. Quan el vaixell es troba en mode DP les càrregues en les hèlixs són petites pel que l'energia és subministrada des del quadre elèctric. Quan el vaixell es troba en trànsit, els motors i propulsors principals dièsel són embragats per aconseguir la velocitat de creuer desitjada. D'aquesta manera, els motors dièsel són únicament utilitzats quan són més eficients, és a dir quan hi ha càrregues importants sobre ells i s'evita que treballin amb poca càrrega, situació que no és convenient ja que es redueix l'eficiència d'aquests i s'augmenten els manteniments necessaris.

- **Sistema de gestió i control de l'energia a bord**

Tots els vaixells moderns estan equipat amb programari de gestió de la planta elèctrica. La principal funció d'aquest programari és assegurar que el nombre adequat de generadors està en funcionament en funció de la demanda global d'energia, incloent potència extra en cas que sorgís alguna contingència. El sistema monitoritza contínuament la demanda de potència així com la potència disponible de reserva i és capaç d'arrencar generadors que es troben en espera si la reserva és considerada insuficient. Aquest programari de gestió permet també introduir la classe en les operacions que s'estan duent a terme i monitoritzar la situació a bord en funció de la redundància exigida. Per exemple, quan la demanda es redueix, si les condicions meteorològiques milloren, el sistema és capaç de parar els generadors extres o mostrar almenys un missatge de recomanació i d'aquesta manera el maquinista de guàrdia pot prendre la decisió d'aturar un generador o no tal com el consideri oportú.

Al seu torn, els sistemes de gestió d'energia poden també actuar de diferents maneres per prevenir un *blackout*<sup>16</sup>. Per exemple un sistema de bloqueig en el programari, pot evitar una apagada elèctrica si un consumidor d'energia molt gran és activat amb poca potència disponible. D'altra manera si aquest consumidor és acoblat en barres el resultat seria un *blackout* amb potencials conseqüències fatals.

Per la seva banda, el sistema de gestió de l'energia també pot respondre a talls de subministrament jeràrquicament. Això vol dir que davant d'aquesta eventualitat, el sistema treu de la xarxa els circuits no essencials de forma esglaonada de manera inversa a la seva importància en l'operació de abord. Quan s'està en mode DP un dèficit d'energia és crític, fins i tot el sistema de gestió pot invocar limitacions o reduccions al pas per evitar l'apagada elèctrica. La filosofia darrere d'aquest concepte és que és preferible una petita excursió fora de la posició de treball a un *blackout* total amb una pèrdua incontrolada de la posició.

Una vegada més en vaixells DP dièsel-elèctrics amb redundància completa, un problema comú és l'operació en estats de poca càrrega dels generadors amb el consegüent problema ja comentat anteriorment de pèrdua d'eficiència i escurçament dels manteniments programats.

### 2.3.5.2 Diferents parts del sistema de generació, proveïment i gestió de l'energia elèctrica al vaixell.

1. **Planta elèctrica del vaixell:** és el conjunt de tots els equips elèctrics instal·lats a bord com ara generadors, motors, conductors, aparellatge, etc.
2. **Planta generadora:** és el conjunt de sistemes que generen o produeixen energia per a l'aprofitament a bord, com a generadors elèctrics i les seves fonts primàries d'energia.

A l'hora, les plantes generadores es divideixen en:

**a. Planta principal:** és l'encarregada del subministrament elèctric en condicions normals. Està composta per dos o més grups electrògens (motor dièsel acoblat directament a un alternador). La seva potència ha de ser tal que permeti el normal funcionament de la instal·lació, fins i tot si un dels grups queda o està fora de servei. A part requereixen els generadors de cua que obtenen l'energia primària del propi eix de cua.

**b. Planta d'emergència o auxiliar:** la seva missió és subministrar l'energia elèctrica necessària per a alimentar tots els serveis essencials per a la seguretat en cas d'emergència. Està formada per un grup dièsel o alternador autònom, amb arrencada pròpia o per una bateria d'acumuladors. Serveis a alimentar simultàniament: l'enllumenat d'emergència en tots els llocs de reunió i de l'embarcament, les llums de navegació, la bomba contra incendis, les ràdio-comunicacions (també amb energia de reserva), les comunicacions interiors, la detecció d'incendis i els instruments de navegació. La planta d'emergència s'ha de situar damunt de la coberta contínua més alta, en un local

<sup>16</sup> Blackout: una apagada elèctrica



independent i amb un accés des de l'exterior, perquè pugui funcionar en cas d'incendi, inundació, escora, etc.

Els grups generadors de la planta principal es situen a la sala de màquines, a la coberta (entrepont) i en un costat en vaixells menors.

3. **Font transitòria:** aquesta font només és necessària en vaixells en què la connexió de la planta d'emergència no està automatitzada. Està composta per un o diversos sistemes acumuladors (bateries) capaços d'il·luminar les vies d'evacuació. També ha de subministrar il·luminació durant un breu període de temps, des de la caiguda de la planta principal fins l'arrencada del grup d'emergència. La font transitòria sol situar-se en un local alt amb bona ventilació per les emanacions de les bateries. Si les bateries van incorporades a les llums o equips, han de ser estanques i entraran en funcionament de forma automàtica, en cas de fallada de la font principal.
4. **Planta de reserva:** és la planta utilitzada en cas de pèrdua total d'energia a bord, i en breus moments d'absència d'energia principal o d'emergència mentre s'activa la font transitòria.

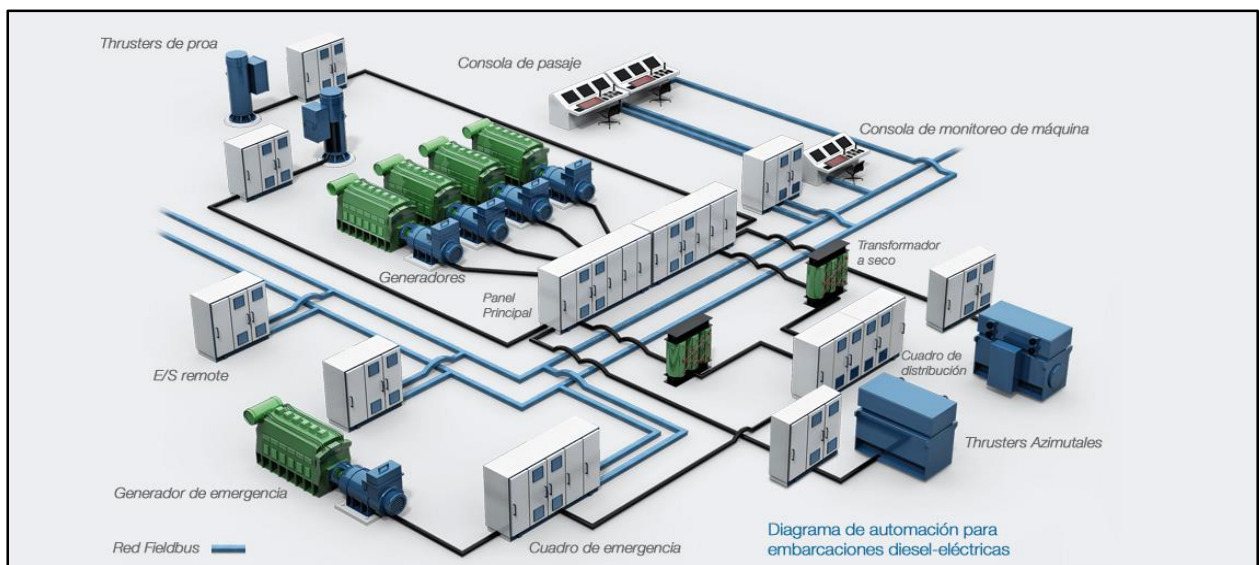


Figura 44: Esquema de la planta dièsel-elèctrica - font: [www.marineinsight.com](http://www.marineinsight.com)

## CAPÍTOL 3. VAIXELLS AMB EL SISTEMA DE POSICIONAMENT DINÀMIC I LES SEVES OPERACIONS

### 3.1 Tipus de vaixells amb el sistema de posicionament dinàmic

A continuació es detallen els diferents tipus de vaixells amb el sistema DP implementat:

#### 3.1.1 Vaixells plataforma de subministrament o PSV (*Platform Supply Vessel*<sup>17</sup>) / Vaixell de subministrament d'alta mar o OSV (*Off-shore Support Vessel*).

Els vaixells plataforma de subministrament, estan especialment dissenyats per a subministrar tan a plataformes costeres com a plataformes *off-shore*, i es consideren un dels tipus de vaixells més comuns utilitzant el sistema DP. L'eslora d'aquests vaixells pot variar des dels 50 fins als 100 metres i són capaços de dur a terme una diversitat de tasques bastant important. El que fan principalment els vaixells plataforma amb DP és suportar altres plataformes *off-shore* mitjançant el transport de subministres necessaris cap i des d'una plataforma i des de la base de subministrament cap a terra.



Figura 45: Vaixell plataforma de subministrament o PSV - font: [www.seaorganizer.com](http://www.seaorganizer.com)

<sup>17</sup> Vessel: vaixell



### 3.1.2 Vaixells de suport al busseig o *DSV (Diving Support Vessel)* i vaixells d'assistència de ROV (*Remotely Operated Vehicle*).

Molts vaixells DP estan especialment dissenyats per donar suport a operacions comercials com el busseig. Així és, que els vaixells de suport al busseig s'utilitzen amb aquesta finalitat.

Els bussos duen a terme inspeccions i treballs en casc de vaixells, instal·lacions i configuracions d'equips de submarins, monitoritzacions d'operacions i recuperacions d'equips perduts o abandonats. Els ROV o els vehicles operats de manera remota substitueixen gradualment els bussejadors en la majoria de llocs de treball. Tot i així, hi ha certes tasques que no es poden dur a terme de manera remota amb un ROV, ja que requereixen una participació manual i de forma presencial.



Figura 46: Vaixell de suport al busseig "Seven Havila" - font: [www.ship-technology.com](http://www.ship-technology.com)

### 3.1.3 Vaixells de perforació o *Drill Ships*

Per a operacions de perforació en aigües poc profundes i d'aigües profundes, és vital que el vaixell pugui mantenir l'estació sobre el pou de petroli i/o de gas (la seva posició dins del diàmetre d'1 m), de manera que el corrent que connecta el vaixell al pou sigui gairebé vertical o vertical. És per aquesta simple raó, que els vaixells de perforació estan equipats amb sistemes DP. L'angle de les connexions sempre es manté el més baix possible i a nivells precisos controlant-lo contínuament per evitar desconexions no desitjades. Actualment, les plataformes i els vaixells DP estan configurats per operar a profunditats d'aigua de fins a 3000 m, o més, amb l'ajuda de sistemes acústics DGPS d'alta tecnologia i LBL (*Long Base Line*) dins del mòdul DP.



Figura 47: Vaixell de perforació "West Vela" – font: [www.maritime-connector.com](http://www.maritime-connector.com)

#### 3.1.4 Vaixells d'estesa i reparació de cables o Cable Lay and Repair Vessel

Els cables de fibra òptica actuals que s'utilitzen per connectar el món a través de la "World Wide Web" són més fràgils que els cables tradicionals més gruixuts utilitzats anteriorment; per tant, tenen més limitacions i restriccions tant de càrrega com de flexió. Així doncs, per evitar grans pèrdues amb la utilització d'aquests cables, és molt comú utilitzar els vaixells DP per a la instal·lació i reparació de cables. La majoria dels vaixells dedicats a la instal·lació de cables de nova construcció estan construïts amb sistemes DP a bord.



Figura 48: Vaixell Cabler - font: [www.dphotographer.co.uk](http://www.dphotographer.co.uk)

### 3.1.5 Vaixell d'estesa de canonades o Pipe Laying Vessel

La majoria d'operacions de canonades (Fig. 48) es duen a terme mitjançant embarcacions de canonades amb DP. La canonada tan es pot muntar a la mateixa embarcació com a les instal·lacions de construcció de tubs lineals a través d'una sèrie de fases de soldadura.



Figura 49: Vaixell d'estesa i reparació de cable - font: [www.denachtdienst.nl](http://www.denachtdienst.nl)

### 3.1.6 Dragues

Actualment, la majoria de les dragues de nova generació utilitzen els mètodes DP per dur a terme les operacions de dragatge de forma segura i precisa amb pistes analògiques.

Com que les pistes han d'estar pròximes entre sí sense superposicions substancials, l'ús del sistema DP aconsegueix un alt nivell de precisió al dragar-se en aigües restringides i confinades.



Figura 50: Draga "Deme Brabo" - font: [www.deme-group.com](http://www.deme-group.com)



### 3.1.7 Vaixells grua i barcasses de grua

Les barcasses amb grues i/o els vaixells grua ajuden principalment a fabricar i desmuntar operacions relacionades amb les indústries de petroli i gas. Aquest tipus de vaixells també s'utilitza en operacions de salvament i d'eliminació de naufragis. Moltes barcasses-grua i vaixells de nova construcció són equipats amb el sistema DP de sèrie.



Figura 51: Vaixell grua "Gulliver" DP2 - font: [www.heavyliftnews.com](http://www.heavyliftnews.com)

### 3.1.8 Vaixells d'abocament de roca o "Dumping Vessels"

El vaixell d'abocament de roques (Fig. 52) s'utilitza per abocar, de manera precisa, roques al fons del mar en un lloc segur per proporcionar protecció als oleoductes, per exemple. Aquests vaixells estan equipats amb sistemes DP que permeten un bon control de la velocitat i del rumb per facilitar la distribució de roca al llarg de la pista planificada. Aquest tipus de vaixell també és útil per proporcionar barreres de roca com una protecció contra els riscos de l'erosió de la marea o l'onatge, que es produeix en zones d'alta marea.



Figura 52: Vaixell d'abocament de roca - font: [www.marineinsight.com](http://www.marineinsight.com)

### 3.1.9 Vaixells de passatge

Els vaixells de passatgers moderns tenen un calat poc profund per permetre l'accés segur a un major rang de destinacions i estan principalment dissenyats de manera que puguin transportar més passatgers que mai, fins i tot amb embarcadors més grans. Cal dir també, que aquesta combinació i configuració de calats poc profunds i embarcadors més grans, pot conduir a múltiples problemes de maneig de vaixells en ubicacions d'atracament més estrictes.



Figura 53: Vaixell de passatge - font: [www.ship-technology.com](http://www.ship-technology.com)

Així doncs, el DP proporciona una resposta ràpida i precisa al maniobrar i al atracar. Fins i tot ofereix una facilitat afegida al ancorar aquests hotels flotants fabricats per l'home, essent molt més segurs tant per a la tripulació com per als passatgers.

### 3.1.10 Vaixells semi-submergibles d'elevació pesada o *Semi-submersible Heavy-lift Vessels*

Els vaixells semi submergibles d'elevació pesada (Fig. 53) són capaços de transportar equips molt pesats a les ubicacions més remotes, sovint, tendeixen a experimentar dificultats durant la càrrega i descàrrega de mercaderies. D'aquests, alguns dels vaixells són monocascos o semi-submergibles i poden submergir-se en el moment de càrrega refloatant posteriorment i permetent que la càrrega emergeixi a bord.



Figura 54: Vaixell semi-submergible d'elevació pesada - font: [www.offshoretechllc.com](http://www.offshoretechllc.com)

Un exemple típic de la càrrega de la que s'ocupa aquest tipus de vaixell és una plataforma de perforació per al transport a gran distància. El DP instal·lat en aquests vaixells es pot utilitzar per al manteniment de la posició durant les operacions de càrrega i descàrrega.

### 3.1.11 Unitats mòbils de perforació marina / vaixells MODU (*Mobile Offshore Drilling Unit*)

Amb l'escenari actual, el DP és l'única opció de perforació marina en els camps d'aigües profundes a alta mar.

Fins i tot en aigües no tan profundes, l'ús del sistema DP s'utilitza cada vegada més per al posicionament de plataformes de perforació abans de l'ancoratge. Especialment, amb la perforació de curta durada, el DP acaba fent estalviar molt de temps. El que significa que apart de ser molt més rentable, és més ràpid i eficient.



Figura 55: Vaixell MODUs "Stena Don" - font: [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com)

### 3.1.12 Vaixell cisterna de transbord o *Tanker Shuttle*

Un vaixell cisterna de transbord (Fig. 55), és un vaixell dissenyat per al transport de petroli o gas des d'un camp petrolífer d'alta mar fins a qualsevol altre lloc on es requereixi. És molt sofisticat i està ben equipat amb equips de càrrega i descàrrega compatibles amb les infraestructures del camp petroler.



Figura 56: Vaixell cisterna de transbord - font: [www.nordic-industries.com](http://www.nordic-industries.com)

Aquests vaixells es mantenen estàtics sobre la posició desitjada generalment amb el sistema DP i estan fets en funció de la distribució de les instal·lacions o les unitats de producció, emmagatzematge i descàrrega flotant (FPSO). Els nombrosos i estrictes sistemes de seguretat asseguren que el petroli potencialment inflamable i el gas natural que es transporta, es manegin de manera segura.

### 3.1.13 Unitat flotant de producció, emmagatzematge i descàrrega o vaixells FPSO (*Floating Production, Storage and Offloading Unit*)

La unitat de producció, emmagatzematge i descàrrega flotant (Fig. 56) és un vaixell flotant utilitzat principalment per la indústria *Off-shore* per al processament i l'emmagatzematge de petroli i gas. Els vaixells FPSO estan dissenyats per rebre el petroli o el gas que es produeix des de les plataformes o patrons submarins propers, processar-los i emmagatzemar-los fins que el petroli o el gas pugui ser descarregat en un vaixell tanc o transportat a través d'un oleoducte.





Figura 57: Vaixell FPSO - font: [www.modec.com](http://www.modec.com)

Els FPSO són normalment petroliers convertits i adaptats o poden ser construïts especialment per a l'ús i l'aplicació. Un vaixell que només s'utilitza per a propòsits d'emmagatzematge de petroli es denomina Unitat d'emmagatzematge flotant o FSU (*Floating Storage Unit*).

#### 3.1.14 Vaixells i operacions navals

Cada cop, més països desenvolupats apliquen el sistema DP dins de les seves flotes navals, de guardacostes i auxiliars.

També, un exemple clar de vaixells equipats amb el sistema DP són els vaixells utilitzats per a la desactivació de les mines explosives marines, l'aterratge amfíbic, el rescat submarí i el control de la contaminació.



Figura 58: Vaixell de patrulla d'alta mar "Knud Rasmussen" - font: [www.naval-technology.com](http://www.naval-technology.com)



## 3.2 Operacions que utilitzen el sistema DP

Un cop s'han vist tots els tipus de vaixell que utilitzen DP, es veurà el tipus d'operació de la qual s'encarreguen.

Cada cop, l'ús del DP està adquirint més importància i està englobant una part del sector i de la indústria naval més gran, realitzant-se més vaixells de nova construcció amb sistemes DP integrats i més activitats i operacions que requereixen d'aquesta tipologia de sistema tant precis.

El rang d'operacions que utilitza aquest tipus de sistema de posicionament és molt ampli i cada vegada ho és més. En el començament del DP, com hem pogut veure anteriorment, s'utilitzava en vaixells únicament perforadors i ràpidament, el seu ús, es va tornar bastant més comú. Molt aviat, mentre que al principi només era utilitzat per la indústria de l'"Oil&Gas Offshore", aviat va començar a ser utilitzat per altres sectors del *shipping*<sup>18</sup>, tant els civils com els militars.

Una de les raons principals, és la tendència a equipar vaixells de nova construcció amb sistemes de control totalment intel·ligents, integrats i combinant totes les funcions del vaixell. El DP, no deixa de ser una integració de totes les funcions que ofereix (control constant de la posició i del rumb, control de la resposta dels propulsors,...), pel que incloure'l durant la fase de disseny del vaixell és relativament "senzill" i pot aportar grans millores.

Actualment, tots els vaixells que treballen a alta mar tenen l'opció d'incorporar el sistema DP durant la fase de disseny, mentre que abans hauria estat un extra. A més, també és preferible un vaixell que des de fàbrica ha tingut un sistema de control integrat i totalment acord al seu disseny, a un vaixell convertit a DP que des del principi no ho era.

A continuació, segueix una descripció de les operacions més important que, avui en dia, es realitzen amb més freqüència i requereixen vaixells amb sistema de *Dynamic Positioning*.

### 3.2.1 Operacions amb la indústria del petroli i del gas

La indústria del petroli i del gas *offshore* és una de les indústries del sector que ha desenvolupat més el sistema DP en les seves operacions i activitats. Això és degut a que el sistema ha estat present des dels seus inicis i s'ha pogut adaptar totalment a la tipologia de vaixell i d'activitat.

Degut a que en aquests últims anys, el petroli i el gas han estat dos materials molt utilitzats, el nombre de reserves per any ha anat augmentant i la demanda ha crescut a nivells desorbitats.

Cada cop, s'ha anat utilitzant aquest combustible per a més finalitats i la seva necessitat a alta mar ha estat indispensable. Per aquesta raó, la construcció de canonades per al transport de petroli pel fons del mar seria la solució si no fos pel costós que arriba a resultar econòmicament tant el mètode com el seu manteniment.

<sup>18</sup> Sector del shipping: sector marítim

Un altre mètode de càrrega de combustible a alta mar és amarrar una terminal *offshore* de descàrrega, com per exemple una monoboia<sup>19</sup>, tot i que hi ha ocasions on les condicions meteorològiques no ho permeten. A més a més, per a l'aproximació a aquestes terminals *offshore* de descàrrega, normalment es necessita ajuda de vaixells de recolzament, com amarradors, remolcadors,... el que suma un cost addicional a l'operació.

És per això, que cada vegada més es fa servir aquest tipus de vaixells llançadora que s'encarrega de carregar el combustible per després transportar-lo a les diferents destinacions. Així doncs, aquests vaixells realitzen la càrrega/descàrrega del petroli i del gas a alta mar amb l'ajuda del sistema DP i posteriorment el transporten al lloc on el producte estigui destinat. Per això, el sistema DP s'ha convertit en una eina molt útil per a operacions de càrrega i/o descàrrega. S'ha adaptat molt bé a la finalitat d'haver d'estar estàtic durant els dies que duri l'operativa i el fet que treballi automàticament amb la propulsió del vaixell per a mantenir la posició.

Els vaixells llançadora o *Shuttle Tankers* operen sota el principi de posicionament del *circleweathervaning* (Fig. 59).

El que fa aquest principi és que el vaixell posicioni la seva proa tocant un cercle imaginari agafat com a referència amb el centre de l'estació de descàrrega. Al mateix temps, s'estarà constantment *weathervaning*<sup>20</sup>, buscant un rumb en el que la posició es mantingui estàtica amb la menor força de propulsió possible amb la terminal per la proa.

Això permetrà que la mànega de descàrrega amb el *manifold* de proa sempre es trobi en un rang acceptable de distància de treball respecte a la terminal i d'aquesta manera, no hi hagi un risc de fer malbé la mànega per tensions excessives i no desitjades i, fins i tot, en condicions atmosfèriques més adverses.

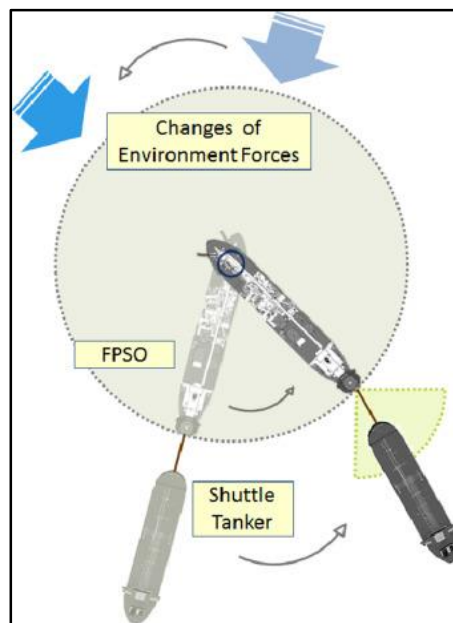


Figura 59: Shuttle Tanker operant sota el principi de weathervaning - font: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

<sup>19</sup> Monoboia: Element que reuneix els elements d'amarra, càrrega i descàrrega

<sup>20</sup> Weathervane: Buscar el rumb en el que la posició del vaixell es mantingui amb la mínima força i esforç possible.

Els petrolers equipats amb sistema DP dissenyat per a l'operació en mode *weathervaning*, normalment acostumen a tenir 2 o 3 hèlixs transversals a proa, 2 a popa i 1 o 2 hèlixs amb timó convencionals. El sistema DP pot ser instal·lat en el pont de comandament de popa o fins i tot, en l'estació de càrrega que normalment se situa al castell de popa. La majoria d'aquests vaixells compleixen amb l'equipament de Classe DP2. Els sistemes de referència de posició o *PRS (Position Reference System)* més utilitzats per a aquest tipus d'operacions solen ser el DGPS, l'HPR, el sistema làser i/o l'*Artemis*. El que si cal tenir en compte sobre el PRS que s'ha d'utilitzar és que alguns són sistemes de posicionament relatiu i altres de posicionament absolut.

En circumstàncies en que el vaixell es troba en operació de càrrega i/o descàrrega i la terminal és mòbil, o una càrrega *offshore* amb boies ancorades (SPAR) que pot tenir algun moviment, el vaixell necessitarà mantenir la posició relativa a la terminal, boia, etc. Per això, en aquest tipus d'operació de sistemes làser, *DARPS* i *Artemis*, serà molt important saber que són sistemes de posicionament relatiu.

Per a realitzar les operacions de càrrega i/o descàrrega amb vaixells de petroli i gas, hi ha tres maniobres diferents. La finalitat de les tres operatives és la càrrega directa des del FPSO (*Floating Production Storage and Offtake*) cap a on es desitgi.

#### **a. Sistema amb amarres**

En l'operativa del sistema amb amarres, la maniobra d'aproximació és la d'un vaixell tanc llançadora o *Shuttle Tank* amb una terminal d'extracció fixa.

En aquesta operació el vaixell activa el sistema DP per a la primera fase: d'aproximació a la terminal. Això és degut a que, d'aquesta manera, es pot recollir el calabrot i la mànega de manera controlada.

Un cop la proa del vaixell es troba situada en el cercle de posició relativa a la terminal, es fa ferm el calabrot d'amarratge i es connecta la mànega de manera segura.

No s'ha de passar per alt, que cada terminal té els seus criteris meteorològics màxims tant per l'aproximació, com la connexió i l'estada del vaixell. Així doncs, és important saber que hi ha uns llindars en els quals l'operació no és segura i no s'ha de dur a terme o si s'està en mig d'una operativa, és possible haver de procedir a una desconexió d'emergència o ESD (*Emergency Scape Disconnection*).

#### **b. Sistema sense amarres**

Aquest sistema la càrrega es realitza a través d'un tàndem des d'un FPSO. En aquest cas, el vaixell FPSO és un vaixell amarrat a una boia submarina.

L'FPSO, refina cru i l'emmagatzema en els seus tancs. En intervals regulars ha de descarregar la seva producció en una llançadora per tal de seguir-ne refinant. La llançadora es posiciona a popa del FPSO i carrega el combustible a través d'un col·lector a proa. L'estratègia utilitzada de posicionament és similar a la utilitzada en el sistema anterior amb amarres, amb la implicació

afegida que el punt de referència de posició és mòbil, ja que el FPSO es troba ell mateix en constant *weathervaning*.



Figura 60: Descàrrega en tàndem - font: [www.zebecmarine.com](http://www.zebecmarine.com)

En aquesta operativa, el DP configura per a la càrrega d'un FPSO un quadre imaginari de posició, on hauria de trobar-se la proa de la llançadora. Només si la proa es surt d'aquest quadre, el DP s'activa i actua per ajustar la posició, evitant la maniobra constant.

El rumb del FPSO és un rumb de referència, de manera que, les dades de telemetria acoblades al DP han d'incloure dades relatives al rumb del FPSO i del *Shuttle Tanker* per generar valors reals, evitar errors i conservar de manera efectiva el nivell de redundància requerit en l'operació.

### c. Sistema amb torreta submergida

Aquest sistema es coneix com torreta de càrrega submergida (Fig. 60) o STL (*Submerged Turret Loading*). Mitjançant aquest sistema, la càrrega i descàrrega es realitza a través d'una torreta submarina cònica, (que incorpora una mànega de descàrrega) que es troba ancorada al fons de l'ancoratge per sota de la quilla.

El petrolier disposa d'un compartiment on encaixar la torreta a proa sota el casc. Per a la localització de la torreta submarina s'utilitza balises submarines hidro-acústiques. D'aquesta manera, la maniobra consisteix en que el petrolier es posicioni sobre la torreta i recuperi una línia missatgera. Un cop virat el missatger, es fa ferma la torreta en l'espai del casc i un cop encaixada al vaixell, es revira sobre la posició de la torreta aconseguint la posició desitjada *weathervaning* i mantenint la posició amb el sistema DP.

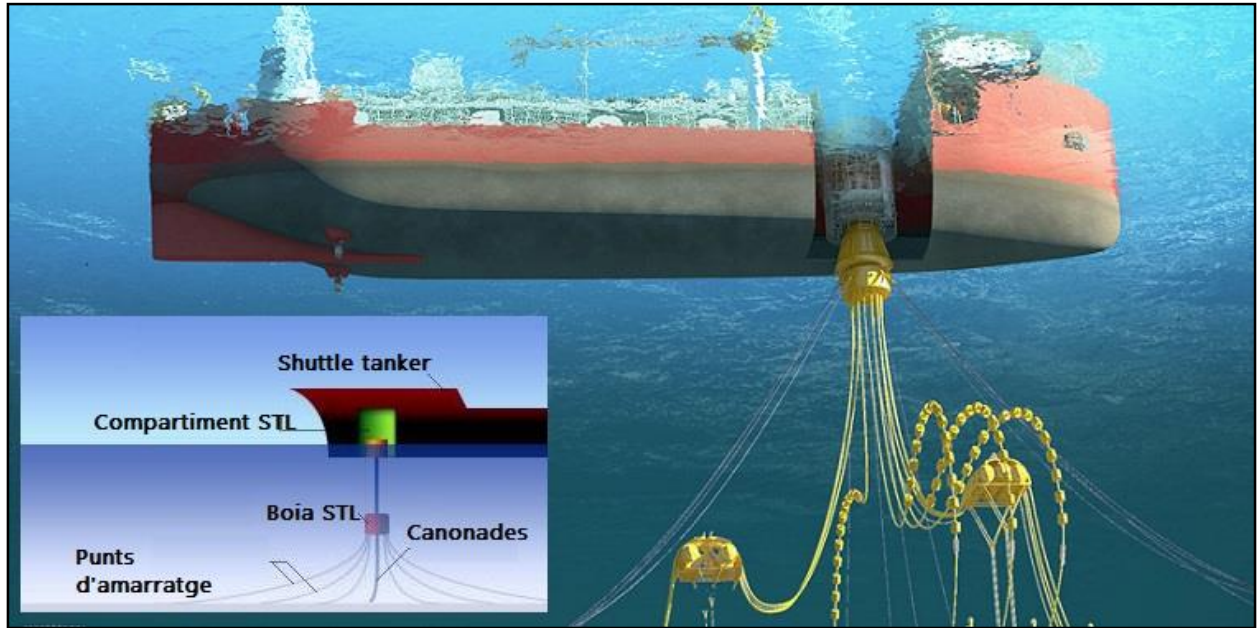


Figura 61: Esquema del sistema de torreta submergida - font: autor

### 3.2.2 Operacions de busseig i amb Vehicles Remotament Operats o ROV (Remotely Operated Vehicle)

Quan parlem d'operacions amb bussejadors i/o amb Vehicles Operats Remotament o ROV, parlem d'operacions en les que un vaixell amb el sistema DP hi està participant. Aquests exercicis poden variar des de simples operacions d'inspecció i/o rutina utilitzant vehicles remots ROV, fins a operacions de més dificultat que involucren múltiples bussejadors.

La raó per la qual no es realitzen totes les operacions submarines amb ROV és perquè actualment, tot i els avanços tecnològics que estem patint, hi ha treballs que degut a la seva dificultat encara requereixen de l'actuació dels bussejadors.

Segons a la profunditat en la que els bussejadors hagin d'actuar hi ha diferents tècniques de busseig:

- Amb bussejadors a l'anomenada "Surface diving"
- Amb bussejadors "en saturació"
- Amb ROV i vestits de busseig atmosfèrics



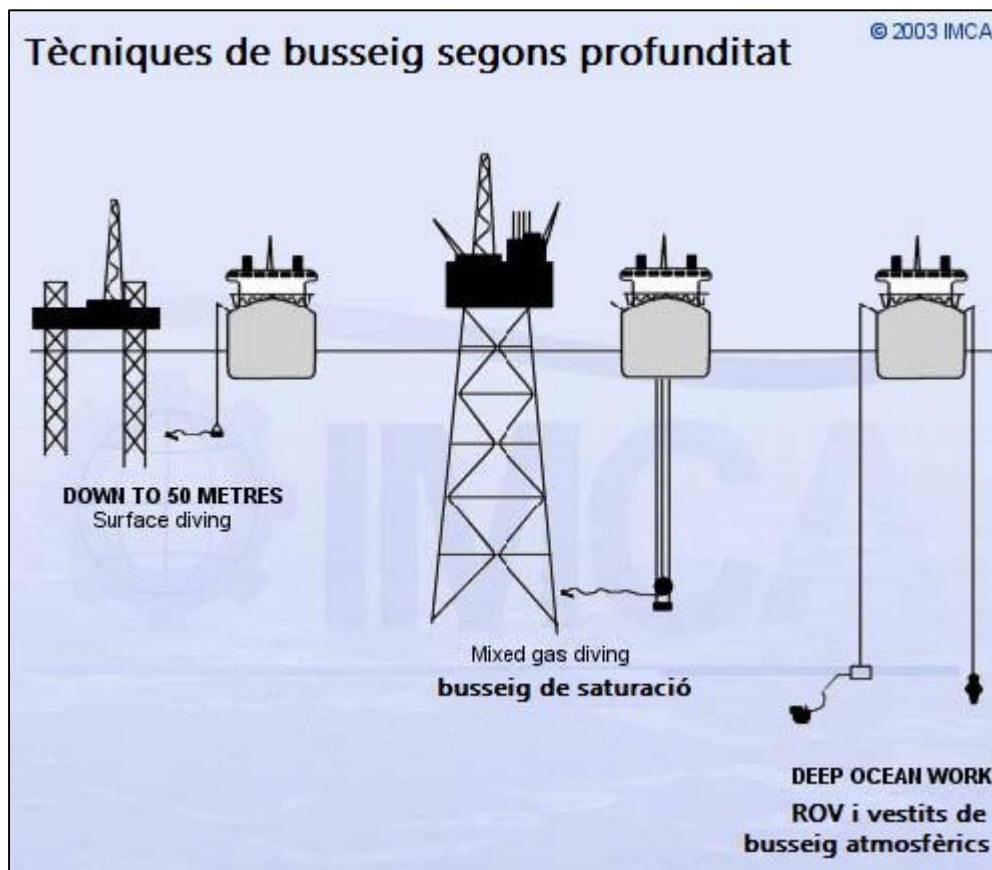


Figura 62: Tècniques utilitzades de busseig segons la profunditat - font: [www.imca-int.com](http://www.imca-int.com)

A una profunditat de fins a uns 50m, s'utilitzen mesclades d'aire comprimit respirable d'heli i oxigen (*Heliox*), la seva concentració depèn de la profunditat concreta a la que es trobin. Com a norma general, els bussejadors són desplegats en una cistella d'acer amb equips de respiració autònoma.

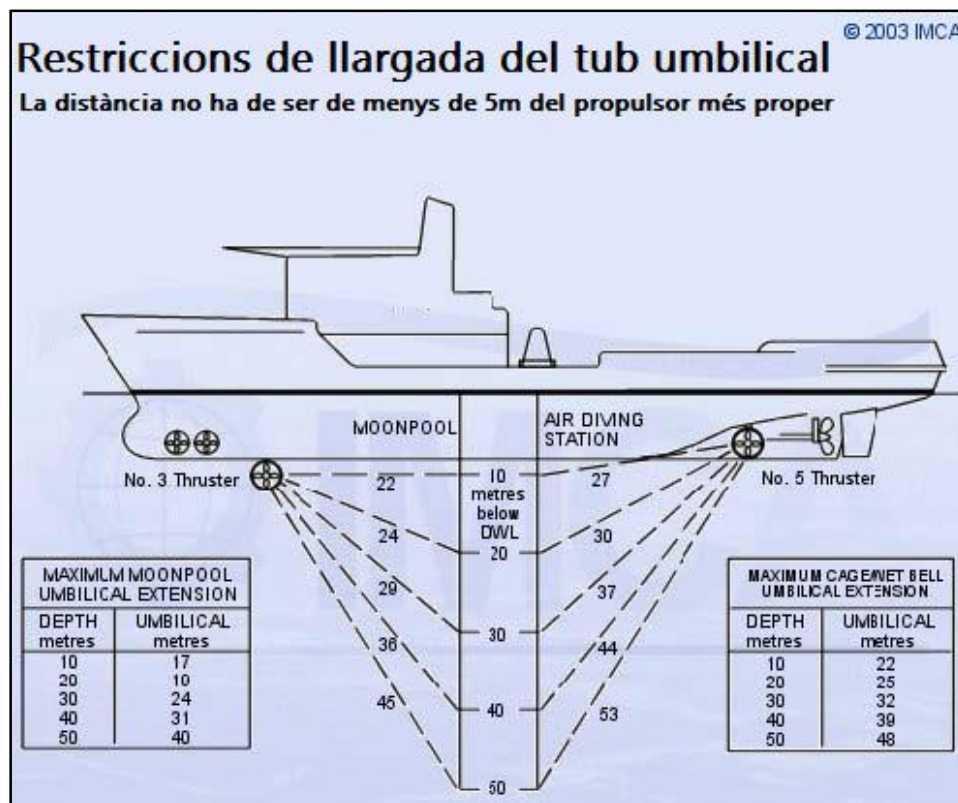
Sense anar més lluny, durant les operacions a aquesta profunditat, tant els bussejadors com els ROV es veuen exposats a un gran nombre de perills en potència. Entre ells, el més perillós és la proximitat a la qual els bussejadors treballen de les hèlixs i propulsors, ja que, els tubs umbilicals que els hi subministra mescla d'aire respirable podrien veure's afectats. A més a més, no només pot suposar un perill l'efecte directe que exerceixen les hèlixs i propulsors, sinó que els efectes indirectes com ara la creació de turbulències, soroll o minva de la visibilitat també poden arribar a dificultar de manera potencial els exercicis i pràctiques subaquàtiques, i fins i tot, arribar a causar un problema.

El perill més possible, i amb el que s'ha de vigilar més a l'hora d'operar amb bussos en aigües poc profundes i amb grans corrents, és el que es pot produir per l'absorció del bussejador per part d'un dels propulsors. Aquest problema pot minimitzar-se, o arribar-se a anul·lar, assegurant-se de que en tot moment el cable umbilical que subministra al bus l'oxigen, tingui una longitud limitada i restringida, de manera que, no pugui ser absorbit per cap propulsor. Tots els procediments de

seguretat que la majoria d'empreses i companyies imposa, manté per llei un marge de seguretat mínim del tub umbilical d'aire de 5 m. A més, la longitud del tub umbilical ha de ser acordada i pactada amb els tripulants del pont de comandament del vaixell i el supervisor dels bussos abans de començar cap operació. És un dels passos que forma part del *check-list*<sup>21</sup> abans de cada immersió.

Tots els potencials problemes als que els bussejadors i els ROV es veuen exposats, han de ser acuradament considerats per l'equip encarregat de la planificació de l'operació i ha de ser objecte d'un estudi de riscos molt rigorós abans de la seva posta en pràctica. Per això, abans s'ha d'haver realitzat un *check-list* de procediment, seguretat, equips i operativa pre-immersió.

A continuació, es presenta un diagrama que relaciona la profunditat a la que es troba un bussejador amb la longitud de cable umbilical que ha de portar:



**Figura 63: Diagrama de les distàncies mínimes umbilicals-propulsors en operacions de busseig -  
- font: [www.imca-int.com](http://www.imca-int.com)**

Per a profunditats més grans de 50 metres els busos són desplegats mitjançant una campana. El funcionament de la campana de busseig es basa en mantenir el bus a la pressió de profunditat de treball. A més a més, es combina amb un complex hiperbàric a bord del vaixell. El que fan els bussejadors és viure en aquesta càmera hiperbàrica, també a pressió, fins a 28 dies. Aquesta tècnica es coneix com a "busseig de saturació" i es realitza per evitar que el bus manifesti símptomes

<sup>21</sup> Checklist: Llista de revisió dels procediments de seguretat i protocols de funcionament en una operació.

d'accident hiperbàric ja que en centenars de metres, el temps de descompressió necessari és més gran, i es pot manifestar en dies i no en hores.

La campana sol desplegar-se a través del *moonpool*, un pou obert al centre del vaixell. La formació típica dels bussejadors consisteix en tres professionals (dos nedadors i un campanar) que operen durant un torn de vuit hores. Els nedadors disposen de gas, aigua calenta per a la calefacció i comunicacions a través dels umbilicals connectats a la campana i al vaixell. La utilització de la campana fa que augmenti la seguretat dels bussos de manera substancial.

Actualment, el límit pràctic per al busseig de campanes és d'uns 300 m. A més profunditat, el treball s'ha de realitzar mitjançant un ROV d'aigües profundes o un bussejador amb un vestit de busseig atmosfèric o ADS (*Atmosferic Diving Suit*). Els ROV o submergibles no tripulats són unitats cada cop més sofisticades que poden operar una àmplia varietat d'eines, sensors i altres instruments. Un dels avantatges d'utilitzar ROVs en comptes de bussejadors, és la menor redundància exigida atès que l'operativa és realitzada sense desplegar mitjans humans subaquàtics.

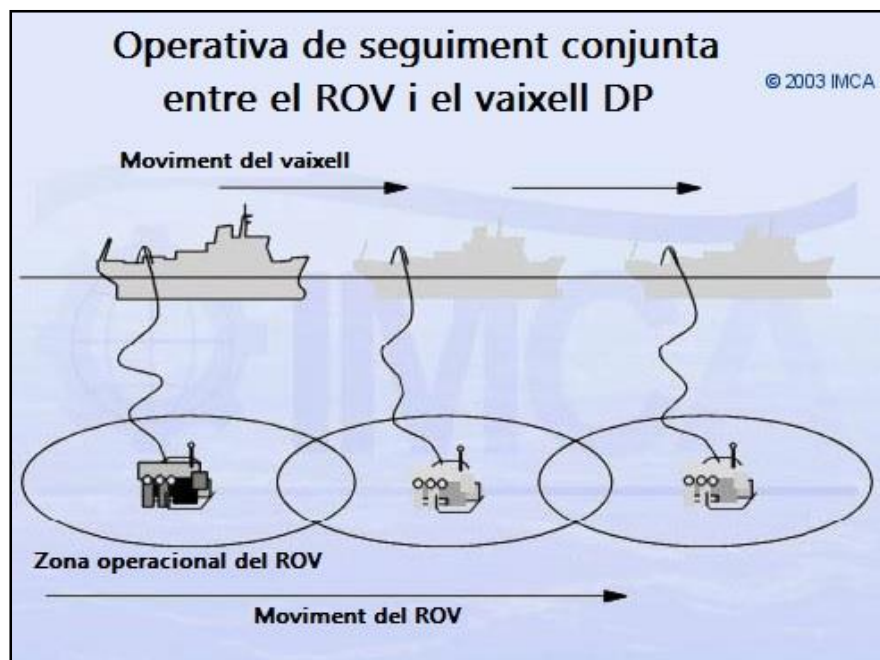


Figura 64: Esquema del moviment de l'operativa de seguiment entre el ROV i el vaixell

- font: [www.imca-int.com](http://www.imca-int.com)



Figura 65: Vestit de busseig atmosfèric - font: [www.guardianlv.com](http://www.guardianlv.com)



### 3.2.3 Operacions d'estesa i reparació de cablejat

Actualment, els cables de fibra òptica són més fràgils que els cables tradicionals, de manera que tenen més limitacions sobre les càrregues i els radis de doblatge. És per aquesta raó que ara és comú utilitzar els vaixells DP per estesa i reparació de cables.

En les operacions de cable a aigües costaneres i altres zones d'aigua poc profundes, sovint és necessari enterrar el cable per evitar que es produeixin danys durant la utilització de xarxes de pesca.

Durant l'operativa d'aquests vaixells, la fase de l'operació on la capacitat de DP resulta més útil és la connexió a terra. És on el vaixell arriba al final del lloc, a poca distància de "la platja", per completar la connexió. Això implica que el vaixell ha de mantenir una ubicació fixa, a prop de terra, en aigües poc profundes, on també poden fluir marees i corrents fortes.

#### a. Operació d'estesa de cable

Per dur a terme la realització d'un projecte d'estesa d'un cable de fibra òptica submarí, hem de seguir en ordre aquestes 3 fases:

- **Fase 1: Traçat**

Per seleccionar el traçat òptim per a l'estesa del cable submarí es comença fent un estudi detallat de les cartes de navegació i cartes de batimetria<sup>22</sup>, lleis i reglaments de les zones per les que es pretenen passar, les activitats humanes habituals de la zona, com pesca, zones petrolíferes i prospeccions, i les perspectives sísmiques.

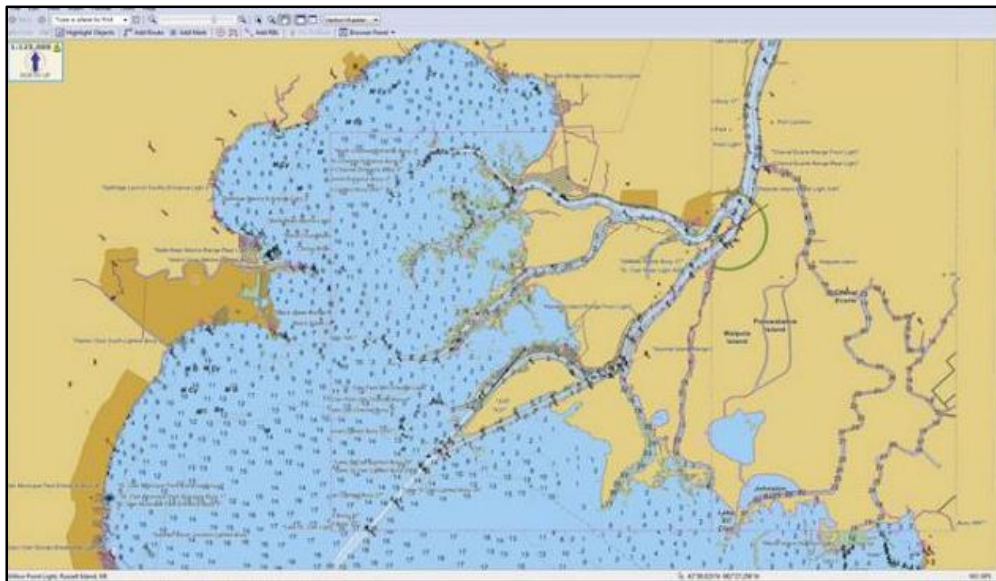


Figura 66: Representació de l'estudi detallat de les cartes de navegació i cartes de batimetria

<sup>22</sup> Batimetria: equivalent submarí de l'altimetria

Un cop fet l'estudi del terreny submarí, el següent és saber on col·locar els punts d'amarratge. Aquests punts són punts de subjecció del cable i se seleccionen en funció del tipus d'ancoratge, la xarxa terrestre i de l'entorn costaner.

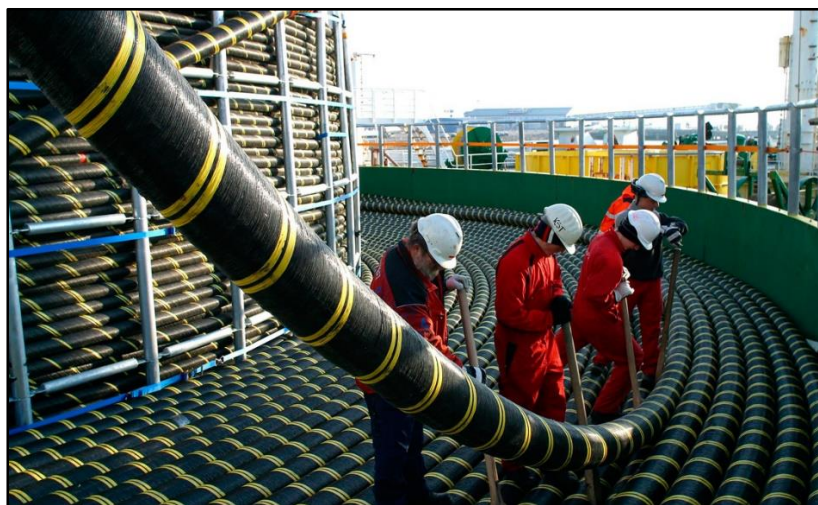
Un cop clar el traçat preliminar, es desplega una missió de sondeig per mitjà d'un vaixell oceanogràfic per a mesurar les sondes. La traça que s'acostuma a estudiar és d'uns 10 quilometres d'amplada i és degut a que d'aquesta manera es pot detallar la batimetria amb menys d'un metre d'error de precisió.

En aquelles zones on es preveu que podrien fer-se fosses, es fan probes a diferents punts per determinar la naturalesa i duresa del sòl. Amb tota la informació extreta en aquesta fase per a l'estesa de cable, es determina el traçat definitiu, el tipus de cable a emprar i les longituds necessàries i precises. També cal tenir en compte les particularitats dels fons marí i del tipus de cable per calcular l'excés i/o dimensió del cable que convé. Tant un cable escàs pot provocar tensions no desitjades, com un d'excessivament llarg generar coques (deformació del cable).

#### • Fase 2: Embarcament

L'operació d'embarcament consisteix en carregar el cable i els seus repetidors al vaixell. Es fa un pla de repartiment de càrregues en el vaixell per evitar escores i inestabilitats, sobretot basant-se en la seqüència de treball, sentit de la col·locació del cable i l'ordre de les operacions. El cable s'estiba a es bodegues del vaixell i els repetidors es guarden en llocs climatitzats per evitar temperatures no desitjades.

En acabar l'embarcament i els empalmaments, es verifica la qualitat d'aquests mitjançant tècniques ecomètriques i reflectomètriques<sup>23</sup>, per verificar la conformitat i funcionalitat del sistema.



**Figura 67: Mètode d'estiba per a l'embarcament del cable**

<sup>23</sup> Tècniques ecomètriques i reflectomètriques de rajos X: S'utilitzen per determinar la funcionalitat, el grossor, la densitat i l'esperesa de la fibra òptica submarina abans de submergir-la.

- **Fase 3: col·locació**

La col·locació es divideix en 2 parts:

- **Amarratge a terra:**

Aquesta fase consisteix, primerament, en que el vaixell se situï en el traçat definitiu desitjat el més pròxim possible de la costa. En segon pas es remolca el cable a la platja sostenint-lo mitjançant boies, on s'amarra i es connecta a la xarxa terrestre. Per últim s'alliberen les boies perquè el cable es vagi dipositant sobre el fons.



**Figura 68: Moment de l'amarratge del cable a la xarxa terrestre - font: [www.ingenieromarino.com](http://www.ingenieromarino.com)**

- **Col·locació en fosses submarines:**

En aquesta segona fase, el cable es col·loca en fosses d'aproximadament uns 80 centímetres, a una profunditat d'entre 20 i 1500 metres, depenent de les característiques de l'ancoratge. El primer que fa el vaixell cabler és remolcar una mena d'arada que fa un solc, després el cable es desenrotlla des del mateix vaixell, passa per l'arada i es diposita sobre la fossa prèviament feta. Quan s'utilitza una arada a l'ancoratge, el vaixell la remolca de manera similar a un tractor que remolca un arada agrícola a través d'un camp. El que fa això, és reduir el potencial gasto econòmic disponible per al manteniment de l'estació.



Figura 69: Arada per a la col·locació del cable - font: [www.ingenieromarino.files.wordpress.com](http://www.ingenieromarino.files.wordpress.com)

A més a més, cada 50 quilòmetres de cable, es disposa i s'acoba un repetidor de senyal (Fig. 69) perquè el senyal làser si és un cable òptic, per exemple, pugui transmetre encara a més distància.



Figura 70: Repetidor de senyal del cable submarí - font: [www.ingenieromarino.files.wordpress.com](http://www.ingenieromarino.files.wordpress.com)

Fora de les zones costaneres, la tècnica clàssica per a la col·locació de cables "a fons" es basa en una màquina (Fig. 70) que porta el vaixell cabler. Ella extreu el cable de les bodegues, controla la seva longitud en funció de la velocitat del vaixell i li dona més o menys excés de longitud i/o les dimensions precises perquè s'acobli bé al fons, sense tensions.





Figura 71: Màquina que utilitza la tècnica clàssica per a la col·locació de cable - font: [www.ticbeat.com](http://www.ticbeat.com)

#### b. Operació de reparació de cable

Els cables submarins poden fer-se malbé per diverses causes, enganxalls amb xarxes de pesca o amb les àncores dels vaixells, a causa d'allaus submarines, per moviments sísmics i terratrèmols i per moltes altres raons. Cal tenir en compte que no totes les reparacions són cables de nova implantació ja que en temps de guerra, les forces enemigues intentaven tallar els cables dels seus contrincants.

Així doncs, el que es fa un vaixell cabler amb DP per reparar un cable submarí, és dragar el fons mitjançant una àncora de tipus ruixó o “grampín” (Fig. 71). Si el cable està a gran profunditat, s’haurà de tallar en dos segments que hauran d’hissar-se fins al vaixell. El tram avariament se substitueix per un altre d’almenys dues vegades la profunditat de l’aigua en aquella posició.



Figura 72: Àncora de tipus ruixó - font: [www.nauticexpo.com](http://www.nauticexpo.com)

A les principals rutes de cable hi ha una sèrie de ports que s'han especialitzat en cablers. El treball d'aquests vaixells va resultar fonamental per millorar les tècniques de col·locació i reparació, així com per desenvolupar la col·locació soterrada, per mitjà d'un «arada» que fa un solc i enterra el cable en zones sensibles.

A continuació, es mostra l'evolució del cablejat subaquàtic dels últims 26 anys de la xarxa mundial mitjançant la comparació de dues imatges (Fig. 72):

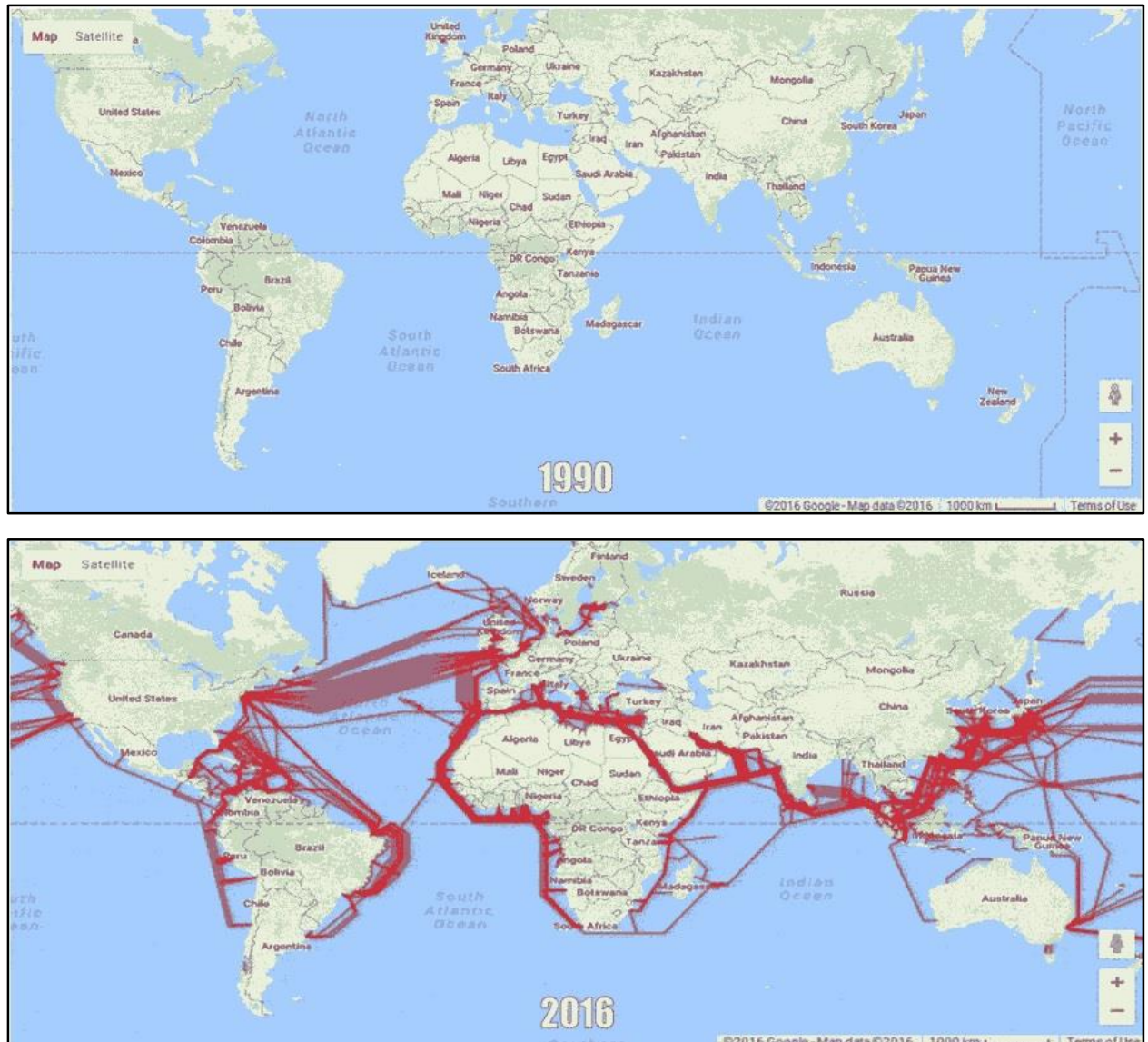


Figura 73: Diferència entre el cablejat submarí del 1990 i el de 2016 – font: [www.omicronno.elespanol.com](http://www.omicronno.elespanol.com)

### 3.2.4 Operacions anchor-handling i de subministrament a plataformes

Les operacions *anchor-handling* i de subministrament a plataformes, estan englobades en el mateix espai, perquè tot i ser dos operacions totalment diferents, requereixen dels mateixos vaixells DP i amb característiques molt semblants.

Per una banda, les operacions *anchor-handling* es basen en el maneig i transport d'àncores de les instal·lacions flotants a alta mar mitjançant el sistema DP, ja que pot ser utilitzat per facilitar la maniobra de trasllat. Aquesta maniobra de trasllat consisteix en moure l'àncora fins a la posició relativa desitjada a la plataforma i en dipositar aquesta en el fons de l'ancoratge d'una manera exacta. A més, també realitzen altres operacions de remolc.

Per altre banda, durant les maniobres de subministrament a plataformes, el sistema DP dels vaixells ajuda d'una manera increïble al manteniment de la posició correcta i desitjada respecte a la plataforma, especialment quan l'operació s'allarga en el temps ja que, tant els esforços com els costos, augmenten.

Avui dia tots els vaixells destinats a aquestes operacions són construïts complint amb les exigències de classe reglamentàries DP2. Anys enrere, l'estàndard de construcció per a aquest tipus de vaixell era DP1, però degut al tipus de treball tan especialitzat i delicat que realitza i a les exigents demandes dels armadors, actualment l'estàndard de construcció ha augmentat a DP2 en comptes de DP1.



Figura 74: Vaixell encarregat d'operacions anchor-handling "Go Phoenix" - font: [www.nextinsight.net](http://www.nextinsight.net)



### 3.2.5 Operacions d'estesa de canonades i creació de fosses

Moltes operacions de gasoductes són conduïdes per vaixells i barques aptes per DP. Segons el mecanisme que s'utilitza per a estendre les canonades sobre l'ancoratge, l'operació es pot dur a terme en 3 mètodes diferents.

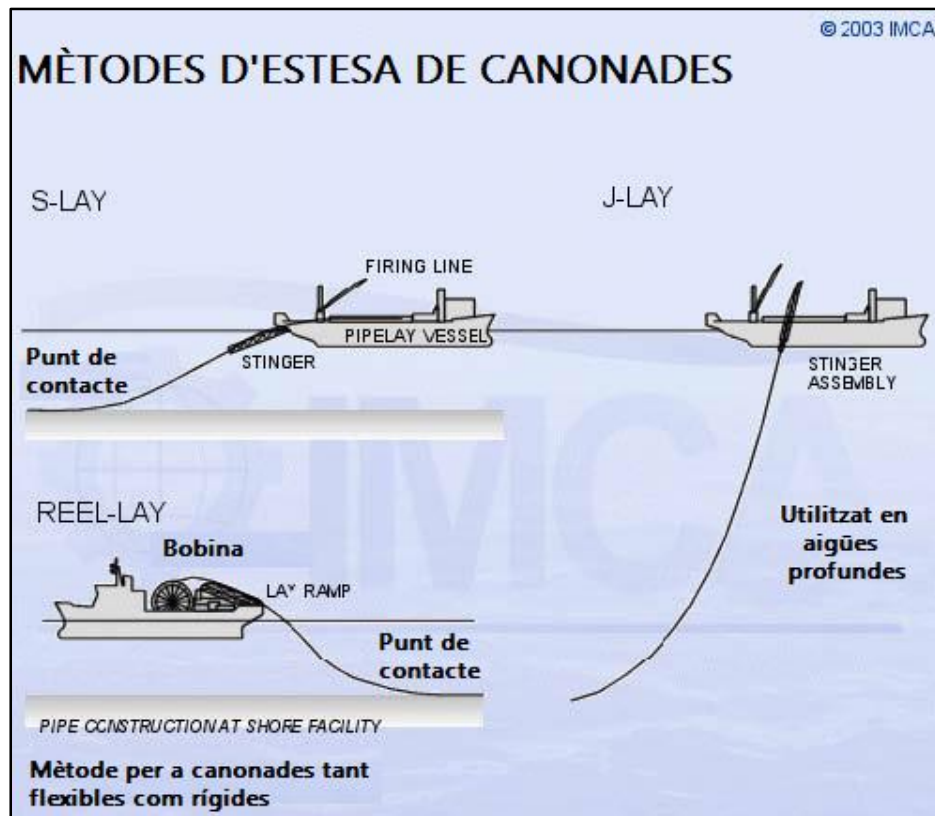


Figura 75: Diferents mètodes d'estesa de canonades - font: [www.imca-int.com](http://www.imca-int.com)

#### 1. Operacions S-Lay

En una barca típica S-lay (Fig. 76), la canonada és construïda en una instal·lació de fabricació en línia anomenada "Firing Line" o línia de cocció, en la qual es produeixen diverses etapes de soldadura. Cada una d'aquestes operacions es realitzen en una fase o "estació". En altres estacions, per exemple, es realitzen proves de rajos X i assajos no-destructius o NDT (*non-destructive testing*) a les juntes soldades, de revestiment anticorrosiu i de revestiment de pes si és necessari. A intervals, l'operador DP o DPO s'avança al recorregut per una distància equivalent a la longitud conjunta. Un cop finalitzat aquest trasllat, continuen les operacions de la "Firing-Line".

És essencial que sempre es mantingui la tensió durant la col·locació del gasoducte. A la part final de la línia de cocció, la canonada es troba a càrrec d'una sèrie de tensors, o de pistes que subjecten la canonada. Aquests tensors controlen el seu moviment, mantenint una tensió constant, i eviten tensions mancants o sobrants al tub. Seguidament, la canonada és recolzada a la vora de la línia de



cocció pel "stinger", que és un pòrtic obert que s'estén més enllà de la popa del vaixell, inclinant cap avall el tub i servint-li de guies. La tensió de la canonada és necessària per evitar tots els desperfectes que pogués patir. La tensió és fixada tenint com a referència un suau contacte amb el fons marí. Si es perd la tensió, es produirà un dany a la zona de contacte.

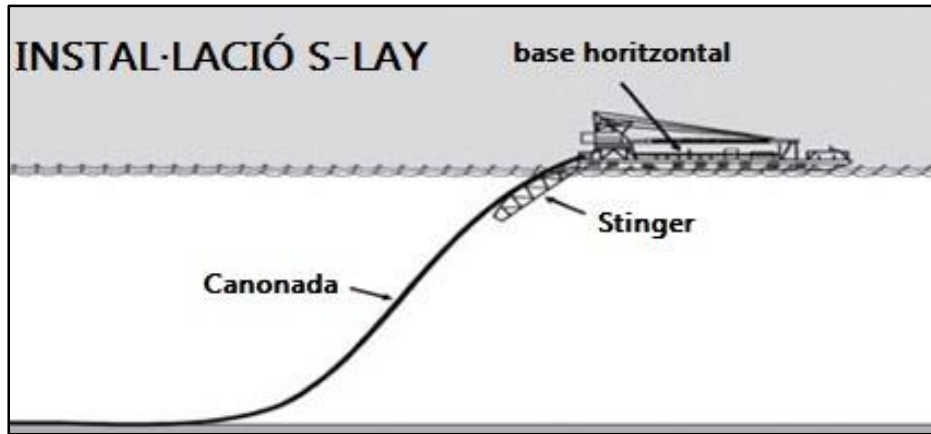


Figura 76: Instal·lació S-lay - font: d'autor



Figura 77: Vaixell d'estesa de canonades amb geometria S-lay - font: [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com)

Els valors de la tensió del tub es comuniquen al sistema DP, que contínuament proporciona ordres d'encoratjament per mantenir la tensió, la posició i l'encapçalament correctes.

Les operacions amb vaixells de canonades són particularment dependents de les condicions ambientals. El vaixell ha de poder fer front de forma efectiva a les marees, a l'estat del mar i a les condicions del vent des de la majoria d'adreces, ja que no és possible deixar que sempre coincideixi la proa del vaixell amb la direcció del vent.

## 2. Operacions J-Lay

És el mètode més comú. Degut a que en aigües més profundes, el mètode S-lay no és factible, s'utilitza el mètode J-lay (Fig.77). A les operacions de J-lay, l'*stinger* es configura com una torre, inclinada entre verticals (inclús fins a 20 graus des de la vertical).

Les longituds de la canonada estan prèviament unides en juntes triples o quàdruples abans de ser pujades a la vertical per soldar-les sobre la canonada o *pipestring*.

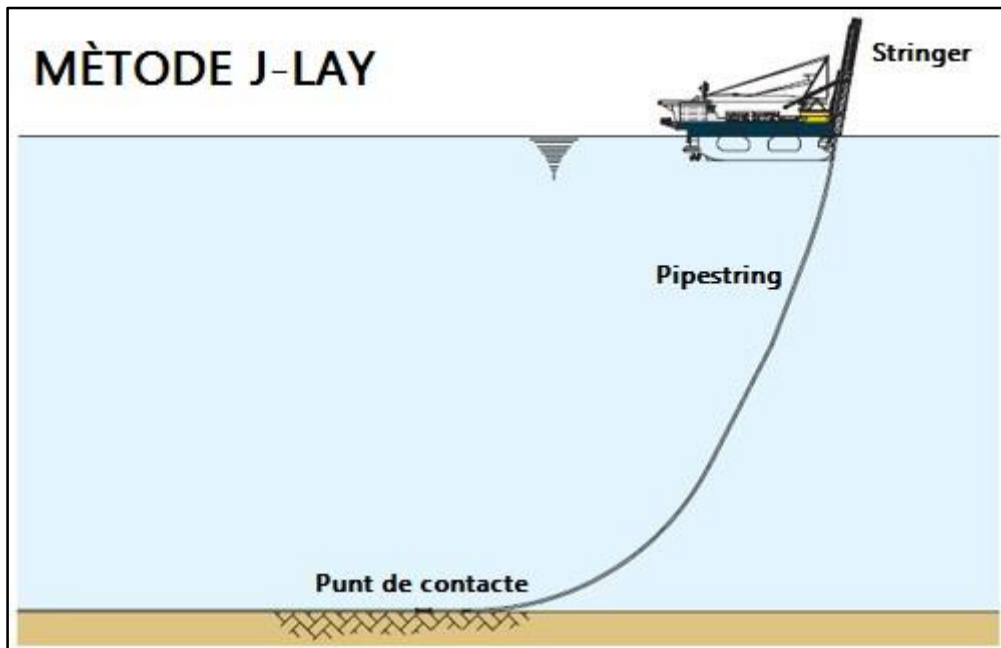


Figura 78: Instal·lació J-lay - font: d'autor



Figura 79: Vaixell J-lay - font: [www.subseaworldnews.com](http://www.subseaworldnews.com)

### 3. Operacions de la bobina o Ree-Lay

Aquest tipus d'operació varia entre els descrits anteriorment ja que, a diferència dels altres, la *pipestring*<sup>24</sup> està prefabricada en una sola peça en una fàbrica de la costa. El vaixell carrega la canonada directament des de la fàbrica, enganxant-la a una bobina o en un carrusel de manera, que es pugui anar lliurant o recollint progressivament i a la velocitat que es desitgi. El vaixell pot traslladar-se al lloc amb la canonada en forma de bobina per instal·lar-la i alimentar-la a través d'aïlladors i tensors, ja sigui individualment o amb conjunt.

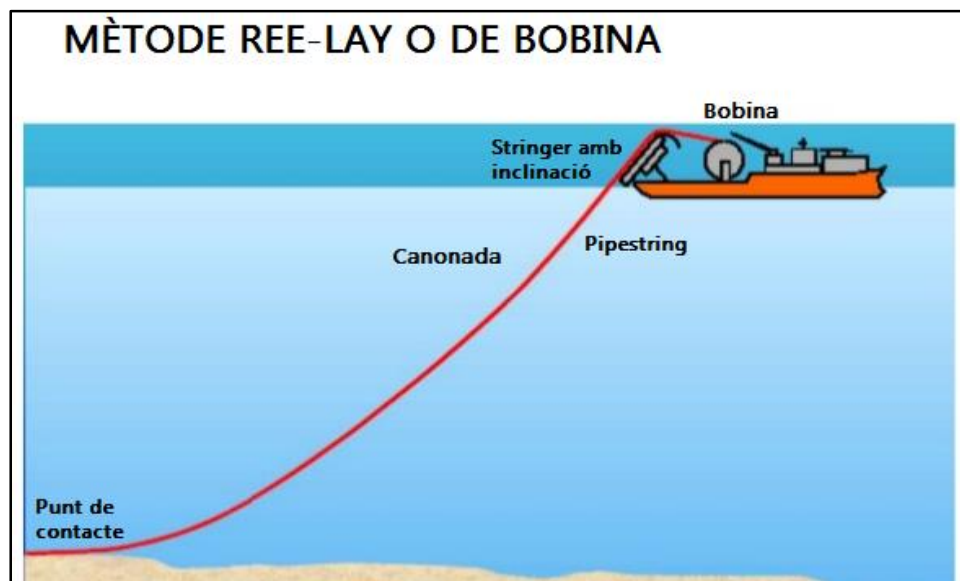


Figura 80: Instal·lació Ree-lay - font: d'autor



Figura 81: Vaixell d'instal·lació Ree-lay - font: [www.offshoreenergytoday.com](http://www.offshoreenergytoday.com)

<sup>24</sup> Pipestring: canonada

### 3.2.6 Operacions de dragat i abocament de roques

Els vaixells que realitzen operacions de dragat i d'abocament de roques o “*Rock Dumping Vessels*” (Fig. 81), presenten sistemes de DP totalment adaptats per a tenir la màxima precisió durant operacions de dragat en espais reduïts i/o l'abocament acurat de roques al fons marí.

Per una banda, actualment, ja sigui per el manteniment de canals o ports, com per a la recuperació de materials, la precisió que ofereix el DP el converteix en una atractiva i valuosa opció per complementar les operacions de drenatge.

Actualment, la majoria de vaixells draga tenen capacitat de Posicionament dinàmic. Això és degut a que l'operativa de les dragues es vol realitzar, per la seva facilitació, mitjançant pistes paral·leles. Les pistes que segueix, la draga de succió final o TSD (*Trailing Suction Dredger*, en anglès), són pistes que han d'estar molt a prop entre elles amb la superposició mínima. Això és ideal per a les habilitats de seguiment que ofereix el sistema de control DP. Es podria fer seguir al cap de la draga, per exemple, una ruta predeterminada i configurar al sistema tant per rebre com per compensar les forces mesurades pels sensors instal·lats en el tren de drenatge.



Figura 82: Draga “Shanti Sagar” – font: [www.dredgepoint.org](http://www.dredgepoint.org)

Per altra banda, el tipus de vaixell destinat a aquest objectiu té el tall clàssic de construcció d'un mini vaixell a granel, condicionat i adaptat per a la descàrrega de les roques o runes per una tremuja o “*tolva*” connectada a una canonada descendent. Aquesta canonada és desplegada per la banda i normalment a l'extrem es col·loca un ROV que distribueix de manera precisa les roques o escombra al llarg de la zona desitjada.

Tots aquests vaixells que treballen en la indústria *offshore* estan equipats amb sistemes DP, ja que és possible un bon control de la velocitat i, per tant, assegura una distribució de les roques uniforme i econòmica.

Normalment, el vaixell segueix una ruta preconcebuda utilitzant la funció autopista del DP o “*d'auto-track*”<sup>25</sup>, que permet al vaixell fer un seguiment amb precisió al llarg d'una línia definida

<sup>25</sup> Auto-track: Seguiment del recorregut automàtic



des dels punts de referència preestablerts, a una velocitat precisa perquè la càrrega sigui òptima. Per exemple, durant la construcció d'una canonada amb els punts de referència de la canonada anterior.

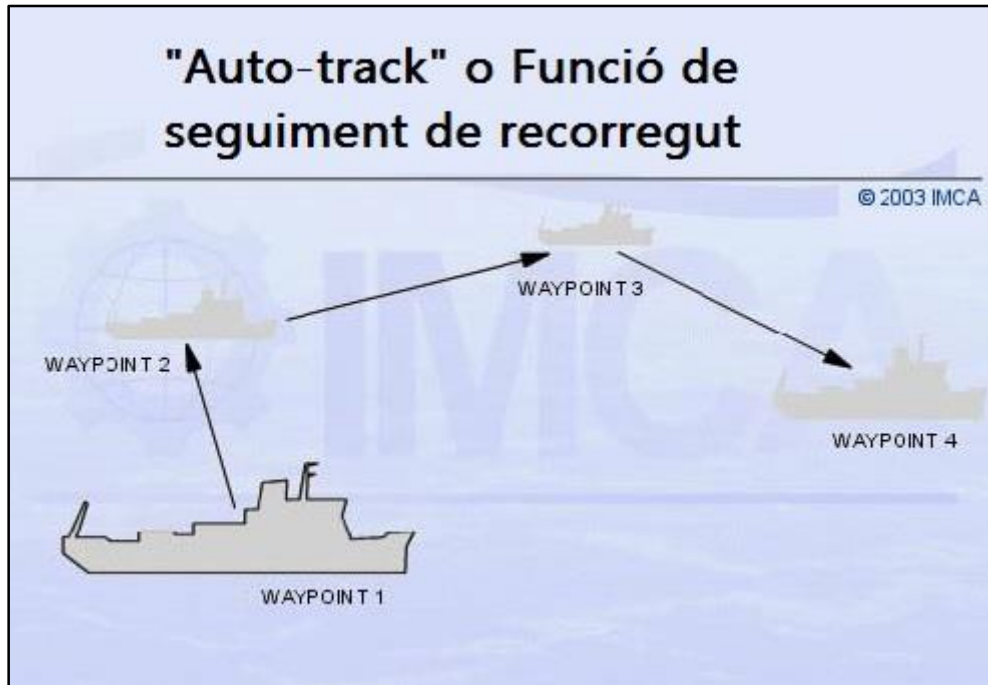


Figura 83: Representació de la funció d'Auto-track - font: [www.imca-int.com](http://www.imca-int.com)

Els sistemes de referència de posició d'aquest tipus de vaixell són convencionals i es poden complementar per la instal·lació d'algun sistema extra en el ROV responsable de la col·locació final de les roques abocades.

La necessitat més freqüent de l'abocament de les roques és bàsicament la de proporcionar protecció als elements de les instal·lacions submarines com per exemple, gasoductes sense tancar, instal·lacions d'un cable o d'una canonada submarina. Tot i així, aquest tipus de vaixell també s'utilitza per protegir contra la marea o l'erosió, que es produeix a les zones d'alta marea. El sediment al voltant de les potes d'una plataforma de perforació Jack-up, per exemple, es pot erosionar fins al punt en què la plataforma es torni inestable.

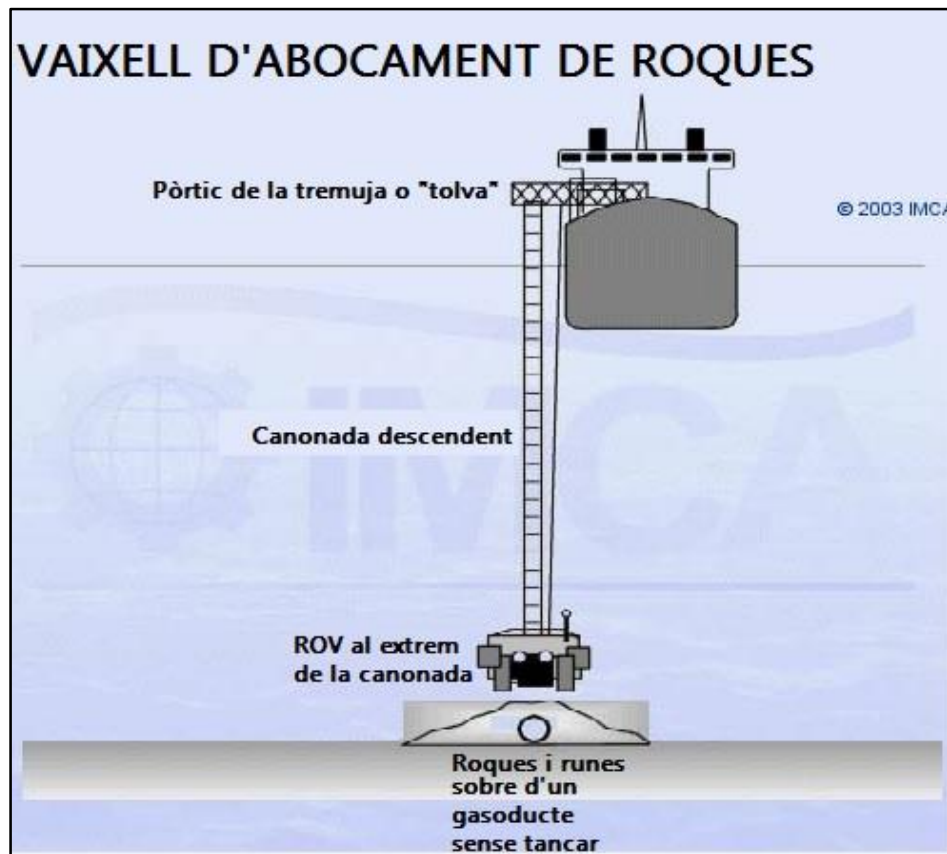


Figura 84: Representació de l'operativa d'un vaixell d'abocament de roques - font: [www.imca-int.com](http://www.imca-int.com)

## CAPÍTOL 4. CERTIFICACIÓ DEL PERSONAL DP

### 4.1 Regulació de la formació i l'experiència del personal DP.

Com en qualsevol altre ofici, és extremadament important i essencial que el personal encarregat de l'operació DP es trobi degudament format al respecte. Quan es descriu el funcionament d'un sistema de posicionament dinàmic, queda clarament de manifest que l'operador DP / DPO és una part importantíssima del sistema en sí. La competència dels operadors és valorada per una combinació de factors com ara: l'experiència, les capacitats, l'entrenament i la certificació.

El personal més directament involucrat amb la gestió dels sistemes DP de bord i els vaixells són els DPOs, els oficials de navegació i els capitans. Fins a 1985 la formació DP era una cosa que ni tan sols existia. La formació era una cosa que es duia a terme únicament durant la part dels fabricants del sistema i normalment operant equips DP reals, sense possibilitat de simulació cap. De manera habitual l'única forma d'entrenament que podia dur-se a terme era durant la construcció, mentre que per a un tripulant que embarcar més tard l'única manera era aprendre durant les operacions. No va estar fins 1989 que no es va reconsiderar la qüestió de la formació dels DPO i es varen estipular unes bases. Tot això va quedar redactat en el paràgraf 4.12 del Codi MODU, 1989.

El 28 de maig a 6 de juny de 1996, el Comitè de Seguretat Marítima va examinar la qüestió de la formació dels operadors de sistemes de posicionament dinàmic en relació amb el paràgraf 4.12 del Codi d'unitats de perforació (Codi MODU de 1989) i va prendre de referència que l'Associació Internacional de Contractistes Marítics (IMCA) havia preparat una publicació sobre la "formació i experiència del personal clau dels vaixells proveïts de sistemes de posicionament dinàmic 17 (*The Training and Experience of Key DP Personnel 17*)", que podria utilitzar-se com a guia per a la formació dels operadors de sistemes de posicionament dinàmic, encoratjant als governs membres a posar-los en coneixement dels organismes afectats i aplicar-los a la formació del personal professional DP.

Aquest document representa el nivell de la indústria acordat i reconegut per a la formació, la competència i l'experiència requerides per tots els professionals del DP en vaixells dinàmicament posicionats.

Dissenyat com a expansió del document de l'Organització Marítima Internacional (OMI) sobre el mateix assumpte, està dissenyat per als vaixells que operen en operacions on la pèrdua de càrrega pugui causar un o més accidents dels següents: contaminació greu, pèrdua de vida, danys greus i pèrdues econòmiques.

Després de recordar les obligacions establertes a la regla 1 / 14 del Conveni de formació de 1978, en la forma esmenada, i vista la importància de facilitar als operadors de sistemes de posicionament dinàmic una formació adequada, així com la recomanació que va formular el Subcomitè de projecte i equip del vaixell en el seu 39è període de sessions (22 a 26 de gener de 1996), el Comitè va

convidar els governs Membres a que posessin aquestes directrius en coneixement dels organismes interessats ja que les apliquessin en el marc de la formació del personal clau encarregat del posicionament dinàmic en els vaixells dotats amb aquest sistema i definits en el paràgraf 1.3.1 de l'annex de la circular MSC / Circ.645.

Així mateix, el Comitè va decidir fer referència a aquests directrius en la nota a peu de pàgina de la secció 4.12 del Codi MODU, 1989, així com la secció B-V / f del Codi de formació.

Més endavant i fa menys de dos anys, en el seu 97è període de sessions (21 a 25 de novembre del 2016), el Comitè va prendre nota de la informació facilitada per la IMCA que les Directrius s'havien actualitzat per assegurar-se que satisfien les millors pràctiques actuals i s'havien tornat a publicar sota la signatura IMCA M 117 Rev.2. El Comitè va prendre nota així mateix que no s'havien introduït canvis en el contingut bàsic de les Directrius, i per tant, que poguessin ser esmenades per la IMCA en el futur.

El Comitè va prendre nota de que aquesta publicació de la IMCA, en la qual es determinen els programes de formació, nivells de competència i experiència amb la qual s'ha de comptar per a la utilització, en condicions de seguretat, de vaixells dotats d'un sistema de posicionament dinàmic, es pot obtenir sol·licitant-la a: *Associació Internacional de contractistes Marítims (IMCA)*, lloc a la Xarxa: [www.imca-int.com](http://www.imca-int.com).

El Comitè, en el seu 98è període de sessions (del 7 a 16 de juny de 2017), va aprovar la circular revisada i va demanar a tots els estats membres que la assenyalessin a l'atenció de totes les parts interessades.

El Comitè va convidar a la IMCA al fet que mantingués a l'OMI informada sobre les modificacions que s'introduïssin en les seves directrius, segons escaigués, i al fet que les posessin a disposició en el seu lloc a la Xarxa.

Actualment, els cursos formatius formals als quals assisteixen els operadors DP, es defineixen en contingut, verificació i aprovació. També es defineix l'experiència pràctica requerida i la certificació necessària. A més a més, en aquests cursos també s'especifica la formació per als *tècnics operadors d'electricitat (ETO)*, els *operadors de ràdio electrònica (ERO)* i els enginyers. La formació es pot realitzar tant a una institució aprovada com a bord d'un vaixell, sempre que la formació sigui equivalent. També, es proporcionen tant els principis com la pràctica per al refrescament de l'entrenament, així com els requisits per als operadors que vulguin presentar experiència en lloc de formació formal.

En general, cal avaluar la capacitat formal i aprovar tota la formació, de manera que es pugui assolir un estàndard comú a nivell internacional.



## 4.2 Esquema d'entrenament del *Nautical Institut (NI)* per a operadors DP

Dins del que estableix el document *IMCA M 117* esmentat anteriorment, l'entrenament i la certificació de l'operador DP és administrat internacionalment per l'Institut Nàutic de Londres. L'Institut Nàutic és un òrgan professional reconegut amb un mandat internacional. El seu objectiu principal és la creació i manteniment d'alts estàndards de professionalitat en el comerç i altres enviaments. A més a més, part d'aquest objectiu s'ocupa del negoci de certificació d'operadors DP a través d'un programa de formació específic i regulat.

Aquest programa està pensat per aplicar-se als vigilants de pont ja qualificats mitjançant un Certificat de competència com a Oficial de coberta o "*Deck Officer*". El programa de formació consta de cinc fases de la manera següent:

1. Realització del Curs d'Inducció al DP. Es tracta d'un curs basat en operativa prop de costa que utilitza equips de formació de simulació DP. Dura de quatre a cinc dies, amb un certificat de curs emès al finalitzar-lo.
2. Familiarització marítima de cop a mínim un mes. El DPO en pràctiques inverteix un mes en entendre i estudiar un DPO qualificat en un vaixell dedicat a operacions amb DP.
3. Realització del curs DP Simulator. Formació avançada basada en operativa prop de costa mitjançant una varietat d'escenaris construïts al voltant del simulador. De nou, la durada del curs és de quatre a cinc dies amb un certificat de curs emès al final de la seva realització.
4. Finalització de la vigilància DP durant sis mesos en vaixells de classe DP2 o DP3, o més en els vaixells de classe 1 i almenys dos mesos en els vaixells de classe 2 o 3.
5. Avaluació de les habilitats del candidat per part del Capità del vaixell. Un cop aprovada la valoració, la documentació és enviada a l'Institut Nàutic de Londres per a l'emissió del certificat DPO.

És veritat que hi ha disponible un certificat DP amb limitació sota el règim del NI (*Nautical Institute*), on la quarta etapa inclou una experiència de sis mesos en vaixells DP de classe 1 (DP1) amb una declaració d'aptitud del Capità.

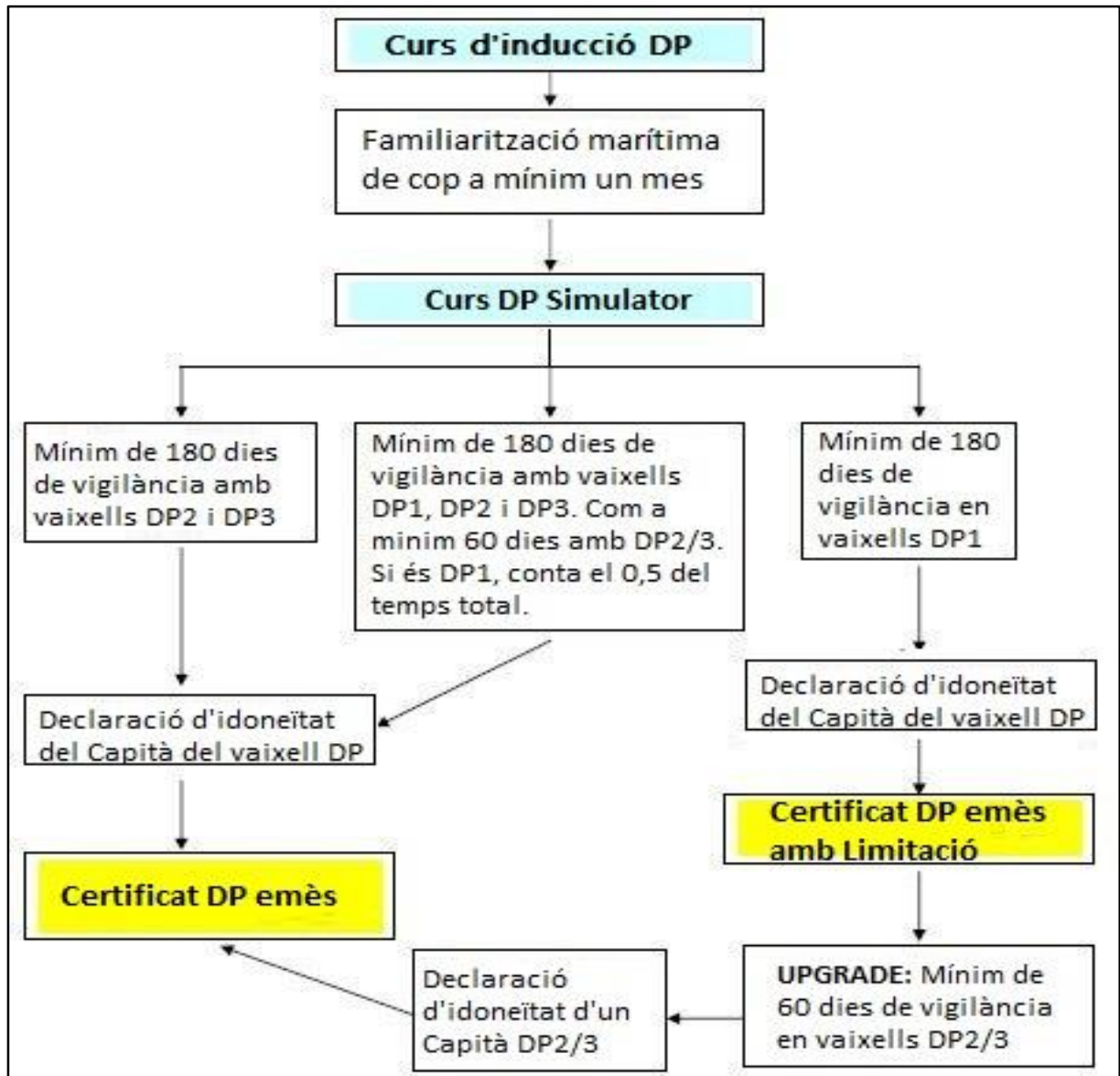


Figura 85: Fases per l'entrenament d'un DPO - font: [www.imca-int.com](http://www.imca-int.com)

Totes les cinc fases anteriors són testimonis i registrats per inscripcions en un diari de registre de DP, en poder del Operador en Pràctiques. Totes les entrades han de ser validades pel Capità. El diari, esquema i certificat de l'Institut Nàutic són acceptats internacionalment tot i que els noruecs tenen un esquema similar, amb llibres de registre i certificació similars (no iguals). De tota manera, tots dos règims i certificats tenen la mateixa posició en el món internacional.

Els cursos detallats anteriorment són aprovats per l'Institut Nàutic. Per tal d'obtenir aquesta aprovació qualsevol centre de formació ha de sol·licitar-se a l'Institut Nàutic per a la validació del seu esquema. El centre de formació serà visitat per la Comissió de Validació del DP de l'Institut Nàutic, que inspeccionarà tots els aspectes de la formació proposada. Es requerirà una revalidació del centre de formació cada tres anys.

A més a més, també és possible dissenyar i executar els cursos d'inducció formal i de simulador DP a bord del vaixell. Aquest model de formació es troba dins del règim recomanat per l'Institut Nàutic,

sempre que el programa d'entrenament a bord sigui elaborat i estigui escrit correctament, es realitzi de forma sistemàtica i que la persona o persones que realitzin la formació estiguin suficientment qualificades i experimentades per a la realització de la tasca. Així doncs, l'Institut Nàutic aprovarà l'esquema, que permetrà a l'operador emetre un certificat basat en operacions realitzades prop de la costa equivalent amb les fases 1 i 3 de l'esquema de l'Institut Nàutic: *Curs DP induction i curs DP Simulator*.

A continuació, es detallaran les diferents fases de formació DP:

- **Fase 1: Curs d'inducció al DP**

Aquest curs bàsic ha de proporcionar al futur DPO el següent:

- Coneixements sobre els principis del DP.
- La capacitat de configuració i operació d'un equip DP i els seus sensors de posició.
- La capacitat de reconeixement d'alarmes i d'advertències.
- Coneixements generals sobre tot el sistema DP.
- Comprensió dels gràfics de capacitat i cobertura del DP.

Durant aquest curs s'ha de tractar, com a mínim, el següent temari:

- La definició del sistema de posicionament dinàmic, els sis graus de llibertat i la funció de control del DP.
- Els elements d'un sistema DP, generació elèctrica, distribució elèctrica, administració de l'electricitat, propulsors, sistema de control de DP, sensors, comunicacions i els operadors.
- Els detalls dels elements del sistema de control de DP, inclosos els processadors, consols de control i sensors de posició, rumb, embarcació i ambientals.
- L'ús de sensors de posició, validació d'entrades i prova d'errors.
- El principi d'avanç del vent.
- El concepte de limitació de potència i propulsió per part del sistema de control de DP, el PMS (*Planned Maintenance System*) i els propulsors.
- El tipus d'embarcacions que usen DP. Anàlisi de les diferents maneres i funcions disponibles, per ex., Palanca de comandament, DP, acompanyar el vehicle submarí, seguiment de pista, tendència de l'anemòmetre, etc.
- El tipus de propulsors i sistemes de maniobra; la seva configuració, capacitats i limitacions.
- El principi d'acció dels controladors del sistema de control del sistema DP.
- Els requisits i el subministrament de redundància en els sistemes del vaixell i notacions de classe de DP.
- L'aplicació d'anàlisi de risc i límits de funcionament segur a diferents operacions.
- Els procediments operatius, inclosos abordatge al lloc de treball, planificació de les maniobres de DP i de contingències i emergències.
- Els procediments per operar el sistema de DP, inclosos portar un registre de bitàcola, l'ús de llistes de control, comunicacions i nivells de tripulació.

- L'avaluació de les capacitats del vaixell pel que fa a les condicions ambientals, aigües someres i profundes, etc. Ús de l'anàlisi de conseqüències en la manera present i de planificació.
- L'anàlisi de manera i efectes de falla, assajos de prova, anuals i de mobilització.
- Els principis de configuració i operació de totes les referències de posició usades comunament.

- **Fase 2: Familiarització a bord.**

El DP *logbook* conté els diferents aspectes amb els quals el futur DPO ha de familiaritzar-se durant aquests 30 dies d'embarcament. És necessari que el vaixell estigui realitzant operacions DP durant la major part d'aquest temps i que l'aspirant s'involucri activament en la realització de les operacions. És responsabilitat del Capità el testificar, amb la seva signatura al *logbook*, que aquesta fase ha estat satisfactòriament superada i els conceptes s'han adquirit.

- **Fase 3: Curs DP Simulator**

Un cop completada la familiarització a bord del futur DPO, s'ha de tornar a un centre homologat per dur a terme un curs avançat de simulació.

El curs en simulador DP ha de proporcionar a l'aprenent el següent:

- Els coneixements pràctics de planificació, conducció i execució de maniobres de DP.
- La capacitat de fer servir i interpretar correctament diagrames del lloc de treball i de planificar en detall cada etapa d'una operació, així com planificar per una diversitat de situacions d'emergències diferents.
- La capacitat de demostrar enteniment i competència en una varietat d'escenaris simulats utilitzant un simulador de DP (això inclou des del maneig d'operacions normals, fins a una sèrie de escenaris en les que hi ha una situació d'emergències).

El curs ha d'incloure el següent contingut:

- Un estudi de casos relacionats amb incidents i accidents de vaixells, basat en les dades i butlletins de l'incident en qüestió.
- La construcció i l'ús de diagrames del lloc de treball, gràfics i plantilles del vaixell per utilitzar durant les maniobres.
- La preparació de plans per a una maniobra de DP projectada, plans de contingència per desviacions esperades i emergències.
- Participació en situacions simulades en una varietat de capacitats mentre es manegen situacions de rutina i d'emergència. Les situacions simulades han d'incloure les maneres de falles extrets de l'experiència del sector, per exemple, de IMCA. Si les característiques del simulador no poden cobrir una falla en particular o no es pot fer per falta de temps, s'hauran de discutir amb l'aprenent.

- Nous desenvolupaments en sistemes de DP, inclosos sensors de posició i sistemes de control;
- Aplicació de riscos i definició de tipus d'equips de DP.
- Altres aplicacions de DP, incloses estesa de canonades, de cables, vaixells cisterna de transbord, etc.
- Maneig dels tipus d'incidents que han ocorregut, inclosos: quedar a la deriva, sortir de curs, altres pèrdues de posició causades per error de l'operador, falles de l'equip o problemes de procediment, ja sigui per separat o combinats.
- Coneixement dels tipus d'incidents que han ocorregut, inclosos: quedar a la deriva, sortir de curs, altres pèrdues de posició causades per error de l'operador, falles de l'equip o problemes de procediment, ja sigui per separat o combinats.

▪ **Fase 4: Guàrdia DP supervisada**

Aquesta fase té com a objectiu la consolidació dels diferents conceptes adquirits durant tota la preparació prèvia. En aquesta fase, una persona experimentada, supervisa el DPO en pràctiques durant la primera guàrdia de prova. Es tracta d'aplicar l'aprenentatge i adquirir experiència en diferents tasques i operacions en DP.

▪ **Fase 5: Valoració per part del Capità**

La valoració del candidat és realitzada pel Capità del vaixell DP un cop l'aprenent ha finalitzat la fase 4 de formació. En aquesta última fase, l'aspirant a Operador DP ha de superar la "prova" en la que demostra que és apte i competent per dur a terme una guàrdia en operacions DP. Aquesta valoració és anotada al llibre de registre DP per concloure el procés de formació i entrenament.

F. SUITABILITY OF OFFICER TO UNDERTAKE FULL WATCH-KEEPING RESPONSIBILITY ON BOARD A D.P. VESSEL

I, Captain \_\_\_\_\_ verify that

M \_\_\_\_\_

has completed the D.P. Operator's Log Book to my satisfaction and in my opinion is competent to undertake D.P. Watchkeeping duties, and in particular

- i) Possesses an adequate knowledge.
- ii) Knows the underlying principles of DP.
- iii) Can take control of the DP system in normal operational conditions.
- iv) Understands what to do in an emergency.
- v) Understands the operational procedures on board and can safely operate the vessel's DP system.

Operator's Signature \_\_\_\_\_

Master's Signature \_\_\_\_\_

Date \_\_\_\_\_

Ship's stamp \_\_\_\_\_

On completion of the Log Book and satisfactory completion of the relevant courses a D.P. Operator's Certificate will be issued by The Nautical Institute. The Operator should forward the Log Book to: The Education and Training Manager, The Nautical Institute, 202 Lambeth Road, London SE1 7LQ.

Figura 86: Informe que omple el Capità en la Fase 5 de la formació DPO – font: [www.imca-int.com](http://www.imca-int.com)

### 4.3 Pautes d'entrenament de l'IMCA

Com s'ha esmentat anteriorment, l'IMCA ha realitzat un estudi en profunditat titulat "L'entrenament i experiència del personal DP rellevant" (*The Training and Experience of Key DP Personnel*'17, en anglès). Publicat el 1996, l'IMO ha referit aquest document com a l'estàndard de la indústria. S'adreça a la formació requerida no només per als DPO de guàrdia, sinó també als Capitans, Oficials, enginyers caps i enginyers de guàrdia, gestors d'instal·lació *offshore* o OIM<sup>26</sup> (*Offshore Installation Manager*) i ETOs o EROs.

Els objectius primaris i secundaris que s'identifiquen en aquesta pauta d'entrenament de la IMCA inclouen:

Millorar la seguretat de les operacions DP mitjançant la definició dels estàndards mínims per a:

- La formació formal del personal experimentat DP.
- El mantenir la continuïtat del personal experimentat amb embarcacions a bord d'un vaixell DP.
- El programa de familiarització del personal experimentat DP nou en un vaixell.

Els objectius principals ajuden a assolir els següents objectius secundaris:

- Una norma internacionalment acceptada per la formació.
- Es gastin els recursos de formació on són més eficients.

Es fomenta l'entrenament a bord, els programes de familiarització i els simuladors.

Com es pot veure, aquesta directriu reforça i internacionalitza els objectius establerts per l'Institut Nàutic el 1983. De fet, l'Institut Nàutic fa referència a l'IMCA com a òrgan de validació responsable de la formació i certificació de les DPO. El document de l'IMCA va més enllà, però, en detallar els nivells de competència i les diferents vies de formació del personal diferent als DPO, és a dir, els ETO / ERO, electricistes i enginyers.

És essencial que durant el transcurs de la formació es mantinguin les habilitats adquirides a través de la formació del sistema de Posicionament Dinàmic. Aquesta consideració presenta la necessitat d'una formació per recordar i refrescar conceptes ja apresos.

Així doncs, el manteniment d'aquestes habilitats pot estar garantit per: la realització continua de les operacions amb DP, la freqüent formació i pràctica de les habilitats amb DP o un entrenament formal per refrescar i recordar conceptes.

<sup>26</sup> OIM: Persona responsable general de la plataforma i del seu personal. La seva posició és equivalent a la posició del capità a bord d'un vaixell

## 4.4 Llibres de registre personal DP

Els llibres de registre personal o *Personal Logbooks* són llibres que s'utilitzen per a mantenir un seguiment dels treballs i de la formació DP realitzada. En ells es van anotant totes les observacions sobre les tasques DP a realitzar i es fa un seguiment de cada persona. Els *Personal Logbooks* són emesos per l'Institut Nàutic i l'IMCA.

Per una banda, els llibres de registre del NI estan dissenyats i destinats específicament per a operadors DP i oficials de guàrdia de pont durant el seu període de formació. Es proporciona un espai per registrar els detalls dels vaixells als que s'ha servit, les tasques realitzades i l'experiència rellevant de DP. Les inscripcions estan signades pel Capità, i es manté un registre de temps marítim. També es proporciona espai per verificar l'assistència als cursos basats en operacions prop de la costa que inclouen les fases 1 i 3 del sistema d'entrenament. Un cop completat el pla d'entrenament, el Capità proporciona un testimoni o avaluació per verificar la idoneïtat de l'oficial en qüestió per dur a terme operacions de DP i mantenir una guàrdia en el pont DP.

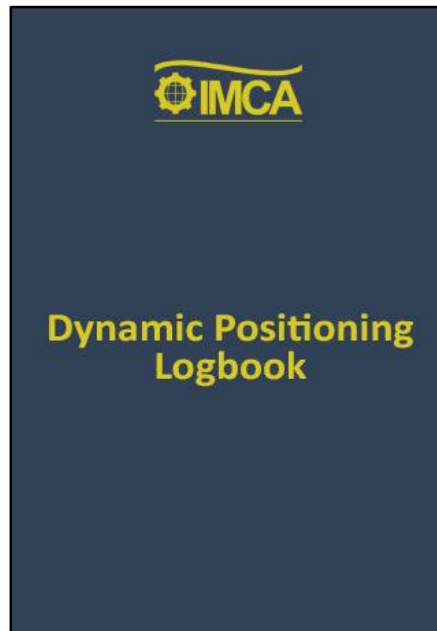
Així doncs, l'Institut Nàutic es basa en l'evidència continguda en aquest diari de registre personal per a la emissió dels certificats individuals de DPO.



Figura 87: Llibre de registre del DPO del NI - font: [www.nialexisplatform.org](http://www.nialexisplatform.org)

Per altra banda, els llibres de registre de l'IMCA (i els diaris de registre anteriors de DPVOA (*Dynamic Positioning Vessels Owners Association*)) estan destinats a ser utilitzats per tot el personal de DP, i no només els funcionaris de guàrdia DP. Els llibres de registre de l'IMCA es consideren un registre continu del servei DP i normalment es després quan es comença a completar la formació DP. Es proporciona una pàgina per mostrar els detalls dels cursos de formació a la qual es va assistir.





**Figura 88:** Llibre de registre del DPO de la IMCA - font: [www.chartandmapshop.com.au](http://www.chartandmapshop.com.au)

## CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS

Després de la realització d'aquest treball, me'n adono que m'ha aportat importants nocions teòriques, tant generals com més precises, del sistema de Posicionament Dinàmic.

El que primer he après i en el que abans m'he fixat és que el sistema DP està avui dia molt integrat a les nostres vides i cada cop més ho estarà més. La tecnologia DP ha creat un ampli espectre de possibilitats operacionals que eren impensables només unes dècades enrere. Les millores s'han donat no només en un ventall més gran d'utilitats i aplicacions sinó també en incrementar la seguretat en operacions de gran dificultat, que requereixen gran precisió o en circumstàncies de temps adverses.

Són vaixells que ofereixen una maniobrabilitat excel·lent, són fàcils de canviar de posició i no requereixen de la necessitat d'utilitzar maniobra d'àncores (*anchor handling*), ja que poden romandre estàtics en una posició el temps que sigui necessari. A més, la precisió, qualitat i fiabilitat dels seus equips, sistemes i sensors és cada vegada més impol·luta.

El seu funcionament no depèn de la profunditat a la que s'ha de treballar i no es veuen limitats per la naturalesa de l'ancoratge o per més congestionat que pugui estar.

També, ofereixen una gran versatilitat i robustesa a l'hora de treballar en una gran varietat d'aplicacions diferents i usos.

Per una banda, amb la realització d'aquest treball també puc concloure que encara és una part del sector del *shipping* que està en constant investigació i desenvolupament. No només tecnològicament amb els seus components, sistemes o equips, sinó amb les legislacions, normes i reglaments de circulació, formació i classificació referents al sistema de posicionament.

També, he pogut veure que els documents i normativa antiga sobre el DP han estat revisats durant els últims anys i cada cop s'han regulat més per a mantenir-los constantment actualitzats.

Per altra banda, també puc concloure l'essencial i l'important que és el sistema de Posicionament dinàmic avui en dia. Actualment, és un sistema totalment integrat en el pont de comandament que ofereix una infinitat d'opcions per a poder pilotar el vaixell, ofereix seguretat afegida durant les operatives perilloses i permet navegar amb precisió en situacions de temps desfavorable. És pel paper multi tasca que realitza, i per la comoditat i funcionalitat que ofereix, que ha esdevingut indispensable.

Un altre aspecte molt important és la seguretat que un vaixell DP és capaç d'oferir depenent de la seva classificació. Com més bons i precisos són els equips, més classificació DP i, com que la classe DP requerida durant una operació, depèn de la dificultat a la que es sotmeti el vaixell DP, sempre hi haurà un vaixell capaç d'actuar en la pitjor situació. L'anàlisi de riscos sempre serà més gran a la situació real i els equips seran més bons comparats amb els d'una classe inferior.

Pel que fa la formació del DPO, és estricta i molt completa. És un pilar fonamental i té una gran importància. Aquesta preparació determina la professionalitat a l'hora d'operar correctament amb DP.

El DPO és l'encarregat de portar el vaixell, pel que ha de conèixer a la perfecció el funcionament i la composició del sistema. Ha de tenir uns bons coneixements perquè en el cas de que hi hagués qualsevol situació de pànic, aquesta, pogués ser solucionada de forma ràpida, efectiva i a poder ser, sense causar-se cap tipus de mal.

Per últim, remarcar la importància actual d'aquest sistema integrat que ha aportat grans millores en el sector marítim, ha facilitat moltes operatives, ha permès realitzar treballs de més i amb més precisió i ha obert noves vies d'especialització amb un tipus de vaixell que ofereix noves finalitats i característiques més òptimes.

No dubto que el DP segueixi patint la creixent evolució que ha patit fins ara. És una eina que aporta grans millores en el sector marítim i abarateix i estalvia moltes despeses, tant econòmiques com ambientals, que d'altra manera s'haurien de costejar. Apart de que la seva segura operativa, suporta possibles danys a l'embarcació i a la mateixa tripulació.

## CAPÍTOL 6. BIBLIOGRAFIA

### 6.1 Manuals, llibres i documents

- Rober García. *"Buques cableros (offshore)"*. 2014
- Alstom Power Conversion Ltd. *"Guide to dynamic positioning of vessels. Marine & Offshore"*. 2000.
- Chris Jenman. *"Dp past, present & future. Global Maritime"*., Londres, 2011.
- Álvaro Manuel Álvarez Hernández. *"Hélices y timones de maniobra"*. Facultat de Nàutica de la Laguna, Espanya, 2015.
- IMO MSC 645. *"IMO Guidelines for Vessels with Dynamic Positioning Systems"*. 1994.
- IMO MSC CIRC 738. *"IMO guidelines for dynamic positioning (DP) operator training"*. Publicat: 1996 revisat: 2017
- José Luis Almazán Gárate. *"Instalaciones off-shore para carga y descarga de hidrocarburos. Monoboyas y campos de boyas"*. Universitat Politècnica de Madrid, Espanya, 2000.
- Pablo Tomás Zamora Sarabia. *"Posicionamiento dinámico: principios, características y operaciones"*. Facultat de Nàutica de Cantabria, Espanya, 2014.
- Norwegian Department of Marine Technology. *"Marine control systems. Propulsion and motion control of ships and ocean structures"*.
- José Manuel Villar Arenal. *"Posicionamiento dinámico: principios, características y operaciones"*. Facultat de Nàutica de Cantabria, Espanya, 2012.
- IMO. *"International Guidelines for the safe operations on dynamically positioned offshore supply vessels"*. Rev.1. 2009
- Captain D. Bray Fni. *"The Nautical Institute monograph Dynamic Positioning operator training"*. 2nd ed. 1999.
- Captain D Bray FNI. *"DP Operator's handbook: A practical guide. NI. Dynamic Positioning"*. Oilfield Publications Ltd. 2003.
- Ian c. Giddings. *"The training and certification of dp operators. Dynamic Positioning Comittee & The Nautical Institute"*. 2001
- Doug Phillips & Brian Haycock. *"Taut wire"*. Dynamic Positioning Comittee & the Nautical Institute. 2014.
- Cristina Rocés Álvarez. *"Posicionamiento dinámico, filtro de Kalman y su aplicacion al buque oceanográfico Angeles Alvariño"*. Universitat de la Laguna, Espanya, 2016.
- Zebensuí Palomo Cano. *Electricidad en el buque*. 2013.
- Oriol Ros i Amor. *"Sistemas de Posicionamiento dinámico para buques y artefactos flotantes"*. Universitat Politècnica de Barcelona, Espanya, 2008.

## 6.2 Bibliografia IMCA

- IMCA. IMCA D 010. *“Diving operations from vessels operating in DP mode”*.
- 105 DPVOA *“Failure modes of the Artemis position reference system”*.
- 108 DPVOA *“Power system protection for DP vessels”*.
- IMCA. IMCA M 109. *“A Guide to DP-Related Documentation for DP Vessels”*. Publicat: 2000, Revisat: Juny 2016.
- IMCA. IMCA M 117. *“The training and experience of key DP personnel”*. Publicat: 2006, Revisat: 2016.
- IMCA. IMCA M 223. *“Guidance for the positioning of Dynamically Positioned (DP) jack-up vessels on and off the seabed”*. 2013
- IMCA. IMCA M 206. *“A guide to DP electrical power and control systems”*. Setembre 2016.

## 6.3 Web grafia

[www.chartandmapshop.com.au](http://www.chartandmapshop.com.au) - 17/06/2017

[www.nialexisplatform.org](http://www.nialexisplatform.org) – 20/01/2018

[www.imca-int.com](http://www.imca-int.com) – 03/02/2018

[www.dredgepoint.org](http://www.dredgepoint.org) – 15/05/2018

[www.offshoreenergytoday.com](http://www.offshoreenergytoday.com) – 22/09/2017

[www.subseaworldnews.com](http://www.subseaworldnews.com) – 07/12/2017

[www.wartsila.com](http://www.wartsila.com) – 12/04/2018

[www.nextinsight.net](http://www.nextinsight.net) - 03/07/2017

[www.omicrono.elespanol.com](http://www.omicrono.elespanol.com) – 30/02/2018

[www.nauticexpo.com](http://www.nauticexpo.com) - 12/04/2018

[www.ticbeat.com](http://www.ticbeat.com) - 03/02/2018

[www.ingenieromarino.files.wordpress.com](http://www.ingenieromarino.files.wordpress.com) – 22/04/2018

[www.guardianlv.com](http://www.guardianlv.com) - 12/04/2018

[www.zebecmarine.com](http://www.zebecmarine.com) – 15/09/2017

[www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com) - 03/02/2018

[www.naval-technology.com](http://www.naval-technology.com) - 12/04/2018

[www.nordic-industries.com](http://www.nordic-industries.com) – 12/08/2017

[www.offshoretechllc.com](http://www.offshoretechllc.com) – 19/12/2017

[www.ship-technology.com](http://www.ship-technology.com) – 11/05/2018  
[www.marineinsight.com](http://www.marineinsight.com) – 25/04/2017  
[www.heavyliftnews.com](http://www.heavyliftnews.com) – 05/08/2017  
[www.deme-group.com](http://www.deme-group.com) – 09/08/2017  
[www.denachtdienst.nl](http://www.denachtdienst.nl) – 17/10/2017  
[www.dphotographer.co.uk](http://www.dphotographer.co.uk) – 15/02/2018  
[www.maritime-connector.com](http://www.maritime-connector.com) – 01/02/2018  
[www.seaorganizer.com](http://www.seaorganizer.com) – 18/07/2017  
[www.riull.ull.es](http://www.riull.ull.es) – 22/05/2018  
[www.nauticexpo.es](http://www.nauticexpo.es) – 07/08/2017  
[www.engerencia.com.ve](http://www.engerencia.com.ve) – 09/08/2017  
[www.wikipedia.es](http://www.wikipedia.es) – 17/07/2017  
[www.ingenieromarino.com](http://www.ingenieromarino.com) – 22/09/2017  
[www.schottel.de](http://www.schottel.de) – 21/03/2018  
[www.incrediblenews24.com](http://www.incrediblenews24.com) – 11/11/2017  
[www.tecnologia-maritima.blogspot.com.es](http://www.tecnologia-maritima.blogspot.com.es) – 21/07/2017  
[www.aagehempel.com](http://www.aagehempel.com) – 07/04/2018  
[www.oceanservice.noaa.gov](http://www.oceanservice.noaa.gov) – 06/03/2018  
[www.vboxautomotive.co.uk](http://www.vboxautomotive.co.uk) – 16/04/2018  
[www.nauticexpo.it](http://www.nauticexpo.it) – 17/07/2018  
[www.en.wikipedia.org](http://www.en.wikipedia.org) – 13/07/2017  
[www.amloceanographic.com](http://www.amloceanographic.com) – 24/01/2018  
[www.quora.com](http://www.quora.com) – 21/3/2018  
[www.oc.nps.edu](http://www.oc.nps.edu) – 24/01/2018  
[www.fisica-microfisica.blogspot.com.es](http://www.fisica-microfisica.blogspot.com.es) – 21/03/2018  
[www.marinetraffic.com](http://www.marinetraffic.com) – 10/12/2017  
[www.cbil.co.uk](http://www.cbil.co.uk) – 13/09/2017  
[www.ecured.cu](http://www.ecured.cu) – 19/04/2018  
[www.guidance.eu.com](http://www.guidance.eu.com) – 17/07/2017  
[www.wsenergyservices.com](http://www.wsenergyservices.com) – 20/09/2017  
[www.km.kongsberg.com](http://www.km.kongsberg.com) – 28/07/2017  
[www.salvamentomaritimo.es](http://www.salvamentomaritimo.es) – 10/12/2017



[www.gulf-resource.com](http://www.gulf-resource.com) – 28/11/2017

[www.articles.maritimepropulsion.com](http://www.articles.maritimepropulsion.com) – 15/09/2017

[www.balticshipping.com](http://www.balticshipping.com) - 22/06/2017

[www.dynamic-positioning.com](http://www.dynamic-positioning.com) – 20/01/2018

[www.atmosferis.com](http://www.atmosferis.com) - 21/06/2017

[www.bourbonoffshore.com](http://www.bourbonoffshore.com) – 23/10/2017

[www.maniobradebuques.com](http://www.maniobradebuques.com) – 29/07/2017

[www.onepetro.org](http://www.onepetro.org) – 20/01/2018

[www.marinemec.com](http://www.marinemec.com) – 28/11/2017

[www.nedcon.ro](http://www.nedcon.ro) – 15/09/2017

## GLOSARI D'ACRONIMS

**ADS:** Atmospheric Diving Suit = Vestit de busseig atmosfèric.

**ASK:** Automatic Station Keeping = Manteniment automàtic de l'estació.

**CALM:** Catenary Anchor Leg Mooring = Boia d'amarratge d'ancoratge catenari.

**CMF:** Common Mode Failures = Errades de modo comú.

**CPP:** Controllable Pitch Propeller = Hèlix de pas variable.

**DGPS:** Differential GPS = GPS diferencial.

**DSV:** Diving Support Vessel = Vaixell de subministrament en operacions de busseig.

**DPO:** Dynamic positioning Operator = Operador DP.

**DPOT:** Dynamic positioning Operator Trainee = Operador DP en pràctiques.

**DPVOA:** Dynamic Positioning Vessels Owners Association = Associació de propietaris de vaixells de posicionament dinàmic.

**ESD:** Emergency Scape Disconnection = Desconnexió d'emergència.

**ERO:** Electronic Radio Operator = Operador de ràdio

**ETO:** Electro Technical Officer = Tècnic operador d'electricitat

**FPP:** Fixed Pitch Propeller = Hèlix de pas fix.

**FPSOU:** Floating Production Storage and Offloading Unit = Unitat de Producció, emmagatzematge i descàrrega.

**FSU:** Floating Storage Unit = Unitat d'emmagatzematge flotant.

**GPS:** Global Positioning System = Sistema global de posicionament.

**GRS:** Ground Reference Station = Estació terrestre base.

**HPRS:** Hydro-acoustic Position Reference System = Sistema de referència de posició hidro-acústic.

**IMCA:** International Marine Contractors Association = Associació Internacional de contractistes Marítimes

**IMU:** Inertial Measurement Unit = Unitat de mesura inercial.

**IMO:** International Maritime Organization = Organització Marítima Internacional.

**MODU:** Mobile Offshore Drilling Unit = Unitat mòbil de perforació d'alta mar.

**MRU:** Motion Reference Unit = Unitat de referència del moviment.

**NI:** Nautical Institute = Institut nàutic

**NAVSTAR:** Navigation Satellite Timing and Ranging = Navegació per satèl·lit per temps i rang.

**NDT:** Non-destructive testing = Assajos de rajos no destructius.

**LBL:** Long Base Line = Línia de base llarga.

**OSV:** Offshore Support Vessel = Vaixell de subministrament d'alta mar.

**OIM:** Offshore Installation Manager = Manager d'instal·lacions a alta mar

**PMS:** Planned Maintenance System = Sistema de manteniment planificat

**PSV:** Platform Supply Vessel = Vaixell plataforma de subministrament.

**PRN:** Pseudo Random Noise = Successió d'uns i zeros col·locats aleatòriament que permeten la identificació d'un satèl·lit.

**RTK GPS:** Real Time Kinematic GPS = GPS cinemàtic de temps real.

**ROV:** Remote Operated Vehicle = Vehicle remotament operat.

**RDV:** Rock Dumping Vessels = Vaixells d'abocament de roca.

**SSHL:** Semi-Submersible Heavy-lift Vessels = Vaixells semi-submergibles d'elevació pesada.

**SBL:** Short Base Line = Línia de base curta.

**STL:** Submerged Turret Loading = Torreta de càrrega submergida.

**TCS:** Thruster Control System = Sistema de control dels propulsors.

**TSD:** Trailing Suction Dredger = Draga de succió final.

**USBL/SSBL:** Ultra-short/Super-short Base Line = Línia de base Super-corta/Ultra-corta.

**VRS:** Vertical Reference Sensor = Sensor de referència vertical.

**VRU:** Vertical Reference Unit = Unitat de referència vertical.

**WWW:** World Wide Web = xarxa mundial.

